

**DESARROLLO Y CALIFICACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA EN
SERVICIO DE ACCESORIO PARA TANQUE BAJO DISEÑO API650 Y
REQUERIMIENTOS DE ASME SECCIÓN IX CON EL PROCESO DE SOLDADURA
SMAW.**

RICARDO ANDRÉS ROSERO JIMÉNEZ.

**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN SOLDADURA
BOGOTA D.C**

2017

**DESARROLLO Y CALIFICACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA EN
SERVICIO DE ACCESORIO PARA TANQUE BAJO DISEÑO API650 Y
REQUERIMIENTOS DE ASME SECCIÓN IX CON EL PROCESO DE SOLDADURA
SMAW.**

**RICARDO ANDRÉS ROSERO JIMÉNEZ.
INGENIERO MECÁNICO**

Propuesta del proyecto de Grado para optar al título de Especialista en Soldadura.

**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN SOLDADURA
BOGOTA D.C**

2017

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES	8
2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
3. JUSTIFICACIÓN.....	10
4. OBJETIVOS.....	11
4.1 Objetivo General	11
4.2 Objetivos específicos	11
5. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	12
5.1 IDENTIFICACIÓN DE CADA UNO DE LOS MATERIALES BASE PARA LA CONEXIÓN.....	12
5.1.1 ASTM A106: Tubería Conexión.	13
5.1.2 Procesos de fabricación de los materiales.....	15
5.1.2.1 Estándar ASTM A106.....	15
5.1.2.2 Acero ASTM A-283 GR C: Láminas Tanques.	15
5.1.2.3 Acero al carbonoASTM A-36: Lámina de Refuerzo.	16
5.1.2.4 Requerimientos químicos y de tracción.....	16
5.1.3 Identificación del Número P y Grupo del material.....	18
5.2 ESPESOR DE MATERIALES SELECCIONADOS.....	19
5.2.1 Espesor para lámina de refuerzo de la conexión del Tanque TK 402/403.....	20
5.2.2 Espesor para tubería de 16" ASTM A106 de la conexión del Tanque TK 402/403.	21
5.3 PRECALENTAMIENTO.....	21
5.3.1 Determinación de la temperatura de precalentamiento.....	23
5.3.1.1 Determinación del índice de soldabilidad.....	24
5.3.1.2 Determinación del número de severidad térmica.....	24
5.3.1.3 Determinación de la temperatura mínima de precalentamiento.....	25
5.4 TEMPERATURA ENTRE PASES	28
5.5 ENFRIAMIENTO	28
5.6 TRATAMIENTO TÉRMICO	28
5.7 JUNTA	29
5.8 POSICIÓN	35
5.9 PROCESO DE SOLDADURA SMAW (SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO MANUAL CON ELECTRODO METÁLICO REVESTIDO)	37
5.9.1 Principio de funcionamiento de la soldadura por arco eléctrico.....	37
5.9.2 Ventajas del Proceso SMAW.....	38
5.9.3 Desventajas del Proceso SMAW.....	38
5.9.4 Equipo para soldadura SMAW.....	39
5.9.4.1 Conexión a Terminal Negativo.....	39
5.9.4.2 Conexión a Terminal Positivo.....	39

5.10 MATERIAL DE APORTE.....	39
5.10.1 Especificación ASME SFA y Número F.....	40
5.10.2 Número A.....	41
5.10.3 Diámetro del Electrodo.	42
5.11 VARIABLES DEL PROCESO SMAW	42
5.12 ELECTRODO	45
5.13 TÉCNICA.....	47
5.14 TABLAS DE RESUMEN GENERAL	48
5.14.1 VARIABLES DE SOLDADURA PARA ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO WPS PROCESO DE SOLDADURA SMAW.	48
5.14.2 RESUMEN DEL DISEÑO DEL PLAN DE SOLDADURA.....	49
6. CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO	50
6.1 CALIFICACIÓN PARA SOLDADURA DE RANURA	50
6.2 CALIFICACIÓN PARA SOLDADURA DE FILETE	51
6.2.1 ENSAYO DE MACRO-ATAQUE.	54
6.2.2 LOS CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA ESTE ENSAYO SON.....	55
6.3 RESULTADOS	56
6.4 Ensayos adicionales.....	56
7 ESPECIFICACIÓN PARA EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA – WPS	58
8 PQR.....	59
9 CONCLUSIONES.....	63
10 RECOMENDACIONES	64
11 ANEXO 1 MATERIALES.....	65
12 ANEXO 2 ENSAYOS	68
13 BIBLIOGRAFÍA	70

Índice de Imágenes

<i>Imagen 1. Requerimientos mínimos para soldadura para aberturas</i>	<i>31</i>
<i>Imagen 2. Tolerancias dimensionales para boquillas.</i>	<i>32</i>
<i>Imagen 3. Dimensiones para Conexiones.</i>	<i>32</i>
<i>Imagen 4. Dimensiones para conexiones en SI.....</i>	<i>33</i>
<i>Imagen 5. Esquema representativo de juntas soldadas para boquillas montadas</i>	<i>34</i>
<i>Imagen 6. Esquema de producción diseño de la Junta.</i>	<i>34</i>
<i>Imagen 7. Soldadura de ranura para tubería.</i>	<i>35</i>
<i>Imagen 8. Soldadura de filete para tubería</i>	<i>36</i>
<i>Imagen 9. Equipo de soldadura por arco Metálico Protegido SMAW.</i>	<i>37</i>
<i>Imagen 10. Fundamento del proceso SMAW.</i>	<i>38</i>
<i>Imagen 11. Amperaje Constante (AC-DC).</i>	<i>39</i>
<i>Imagen 12. Especificación para Designación de Electrodo AWS A5.1</i>	<i>40</i>
<i>Imagen 13. Electrodo Positivo (DCEP), polaridad inversa (DCRP)</i>	<i>44</i>
<i>Imagen 14. Electrodo Negativo (DCEN), polaridad Directa (DCSP).....</i>	<i>44</i>
<i>Imagen 15. Procedimiento de Soldadura a filete en Tubería.</i>	<i>53</i>
<i>Imagen 16. Probetas para Macro-ataque</i>	<i>54</i>
<i>Imagen 17. Probetas</i>	<i>55</i>

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Especificación de material seleccionado a trabajar.</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2. Propiedades Muestra M24 (Colada 43211).</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 3. Requerimientos Químicos A106 Gr B.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 4. Valores de dureza aproximada aceros no austeníticos.</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 5. Requerimientos a Tracción del material A106 Gr B.</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 6 Requerimientos Químicos</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 7 Requerimientos a tracción</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 8 Resumen Resistencia a la tracción de Materiales.</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 9 Tabla QW/QB-422 Numero P y Grupo del Material.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 10 Grupos de Materiales</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 11 Espesor de materiales seleccionados.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 12. Selección de espesor mínimo de lámina de conexión según diámetro.</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 13. Dimensiones y pesos para tubería sin costura según diámetros y espesor.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 14. Control de temperaturas en el proceso de soldadura SMAW.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 15. Temperatura Mínima de Pre-Calentamiento.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 16. Tabla Índice de Soldabilidad.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 17. Número de Severidad Térmica.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 18.Temperatura Mínima de Precalentamiento.</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 19.Resumen de valores para hallar la Temperatura de Precalentamiento Mínima.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 20.Control de temperaturas en el proceso de soldadura SMAW.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 21. Tratamiento Térmico.</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 22. Diseño de la Junta a soldar.</i>	<i>29</i>

<i>Tabla 23. Posición para soldar.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 24. Calificación de Desempeño Limitaciones de diámetro y posición para soldar.</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 25. Metal de aporte.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 26. F-Numbers Grupos de electrodos y varillas de soldadura para calificar.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 27. A-Numbers Clasificación de Metal de Soldadura.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 28. Características Eléctricas.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 29. Clasificación de Electrodos AWS 5.1.</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 30. Clasificación de Electrodos AWS 5.1.</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 31. Características Eléctricas.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 32. Variables del Proceso de Soldadura SMAW.</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 33. Variables del Proceso de Soldadura SMAW.</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 34. QW-451 Límites De Espesor Y Métodos De Prueba De.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 35. QW-451.3 Ensayos de soldadura a filete.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 36. ENSAYO DE MACROATAQUE.</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 37. PQR-SMAW-ECP-VIT-044 ENSAYO DE DUREZA.</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 38. WPS-SMAW-ECP-VIT-044.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 39. PQR-SMAW-ECP-VIT-044.....</i>	<i>60</i>

1. Antecedentes

Hoy en día la constante demanda en la mejora de procesos operativos en las plantas requiere de optimización de procedimientos operativos, de seguridad, y de actividades de montaje con soldadura que cumplan con los requerimientos técnicos y de servicio para la operación correcta de la planta, actividades que incluyen desde la concepción de un soporte, hasta el montaje de líneas de tubería tanques o recipientes.

En el camino de la búsqueda de mejoras operativas, la Gerencia Técnica De Activos de la Vicepresidencia de Transporte de ECOPETROL S.A. (VIT). identificó la necesidad de contar con procedimientos y prácticas constructivas aceptables que demuestren resultados óptimos en las condiciones de operación del día. Para esto, la Vicepresidencia de Transporte (VIT) de ECOPETROL S.A., está dando solución a riesgos inherentes a la operación, específicamente en la Planta Apiay ubicada en cercanías de la vereda Pompeya en el Meta, donde se ha requerido solucionar de manera urgente un CONTROL DE CAMBIOS, llamado Independización de relevos de Crudo y Nafta de la planta.

Este proceso interno dentro de ECOPETROL S.A llamado Control de Cambios, nace como una metodología de valoración de riesgo operativo en las plantas, el cual tiene su respectivo análisis de Factibilidad que determina el riesgo y grado de urgencia para ser mitigado. Una vez surge la necesidad, para dar respuesta a este control de cambios se procedió con la realización de un taller What If (¿Que pasa si?), donde se determina técnicamente si es o no viable la restructuración o adecuación de los sistemas de la planta, con el fin de reducir riesgos operativos que puedan incurrir en consecuencias de impacto considerable para la planta y los activos.

Identificada la necesidad de realizar los ajustes respectivos al Sistema de Relevos de la Planta, se procedió a la elaboración de una propuesta para corregir esta condición sub estándar en la Planta Apiay, requiriendo de una serie de visitas de campo con el fin de dar inicio al desarrollo de Ingeniería de Detalle. Esta ingeniería, llamada “DESARROLLO DE INGENIERÍA DE DETALLE PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD DEL SISTEMA CASTILLA - APIAY - MONTERREY - 330 KBPDO” debe incluir la realización de procedimientos de soldadura, motivo por el cual el Departamento de la Gerencia Técnica de Activos (GTA) a cargo de la realización de la misma, requiere desarrollar:

- Especificaciones Técnicas de Contratación y Montaje.
- Hojas de Datos
- Isométricos de tubería
- Típicos para soportes
- El diseño y calificación de los procedimientos de soldadura para:

- * Tubería de diámetro 20”.

- * Reparaciones generales de averías o desperfectos que se presenten durante la ejecución de la ingeniería requerida por el control de cambios.

- * Tee Split de 20”

- * Camisas para hot tap en tubería.

- * Juntas soldadas para boquillas previas a la realización de Hot Tap en tanques.

Siendo este último el principal tema de interés de este documento, ya que el trabajo a desarrollar en esta monografía tiene como objeto el diseño de un procedimiento de soldadura (WPS) para

juntas soldadas para boquillas previas a las realización de Hot Tap en los tanques de almacenamiento de Crudo y relevo de crudo TK402 y TK403 y así cubrir el aseguramiento técnico desde su diseño para poderlo aplicar en la ejecución del Hot Tap de los dos Tanques TK-403 y TK-402.

2. Descripción y formulación del problema

Desde la unidad de negocios de la Vicepresidencia de Transporte (VIT) Ecopetrol S.A y dentro de su organización, en la Gerencia Técnica de Activos (GTA) para transporte, se verificó la existencia de diferentes procedimientos de soldadura desarrollados para el cumplimiento de los requerimientos de soldadura para el proyecto “DESARROLLO DE INGENIERÍA DE DETALLE PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD DEL SISTEMA CASTILLA - APIAY - MONTERREY - 330 KBPDO”, producto de esta revisión, se concluyó que ninguno de esos procedimientos se ajustaban al alcance de la actividad para las conexiones, por lo que surgió la necesidad de realizar el diseño de un procedimiento de soldadura específico para las juntas soldadas requeridas para el montaje de una conexión de 16” a un tanque de almacenamiento, el cumpliera con los requerimientos técnicos requeridos para montaje en tanques diseñados bajo estándar API650 y de soldadura.

3. Justificación

Uno de los requerimientos básicos para garantizar una constante mejora operativa en los procesos de ECOPETROL S.A., es contar con procedimientos claros, específicos y disponibles encada actividad que se va realizar dentro de sus proyectos. Por tal razón y teniendo en cuenta que no existe un procedimiento de soldadura que indique claramente las condiciones técnicas que deben cumplirse para llevar a cabo la actividad dentro de los parámetros requeridos, la GTA como

encargada de hacer el seguimiento y aseguramiento técnico del montaje, con el fin de garantizar el cumplimiento de especificaciones, de requerimientos, de seguridad operacional, de integridad de equipos y de personal, define que dentro de las actividades de ingeniería a su cargo, se diseñe el procedimiento de soldadura a aplicar en el montaje de dos boquillas de 16” para la realización posterior de Hot-Tap que intercomunique los dos tanques de almacenamiento de crudo, y así cumplir con la meta propuesta para la independización de relevos en Apiay y llevar a buen término la ejecución de todas las actividades relacionadas según plan de trabajo del proyecto.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Elaborar el diseño de un procedimiento de soldadura bajo proceso de soldadura SMAW cumpliendo con los requerimientos de diseño API 650 y bajo el estándar de soldadura Sección IX del código ASME para aplicación de soldadura en el montaje de una boquilla (conexión) de 16” previa a la ejecución de un HOT TAP para un tanque de almacenamiento de Crudo.

4.2 Objetivos específicos

- Realizar el diseño de la soldadura determinando las variables, de acuerdo con su soldabilidad.
- Identificar las variables del proceso de soldadura para el montaje de la boquilla de 16” en tanques bajo diseño API 650 y el código ASME SECC IX.
- Determinar las variables a seleccionar para el diseño de la WPS de acuerdo al código ASME SECC IX y criterios de diseño bajo Estándar API 650 para el proceso de soldadura SMAW.
- Determinar las condiciones para la calificación del procedimiento de acuerdo con ASME SECC IX.
- Calificar el procedimiento de soldadura según ASME SECC IX.

- Analizar los resultados obtenidos producto del diseño del procedimiento de soldadura y realizar los ajustes necesarios en el procedimiento de ser requerido.

5. Desarrollo Metodológico

5.1 Identificación de cada uno de los materiales base para la conexión

Tabla 1 Especificación de material seleccionado a trabajar.

METAL BASE (QW-403)	
NUMERO P:	1
N° GRUPO:	1
Especificación y tipo /Grado o número	
UNS:	
ASTM A36,	
ASTM A 106, Gr B	

Fuente: Autor

Se seleccionó un niple de tubería de Ø8” acero al carbón sin certificado de calidad disponible. Para asegurar el proceso constructivo se decidió inspeccionar el material por medio de la técnica PMI¹ para caracterización de materiales en el Informe de Inspección Reporte N°005 Formato RC-GO-569 Versión8. Agosto/12 CARACTERIZACIÓN TUBERÍA Y ACCESORIOS fecha 11-08-2015. Realizado por Tecnicontrol S.A. Ver **Anexo 1 Materiales**.

¹ **PMI:** Positive Material Identification=Identificación positiva de Materiales. Metodología por medio de la cual se determina la composición química de una pieza o elemento, identificando el tipo de aleación con la que están compuestos aquellos materiales (tubos, válvulas, bombas etc.) con el objeto de certificar cada elemento de un montaje correspondiendo inequívocamente con los materiales proyectados en el diseño.

5.1.1 ASTM A106: Tubería Conexión.

- Tubería seleccionada para calificación del WPS de 8", ASTM A-106 Gr B para niple de la boquilla de 16". Según Reporte N°005 para tubería de 8" espesor 0,28in Colada 43211K muestra N°24.

Tabla 2 Propiedades Muestra M24 (Colada 43211).

Muestra	Composición Química (PMI)					
M24	99.05% Fe	0.64% Mn	0.015% S	0.010% P	0.21% Si	0.041% Cr
	Dureza Promedio	143 HV	Resistencia a tensión según SA370		69.000 psi	
Composición Química A 106 Grado B						
0.29-1.06% Mn	0.035% P Máximo	0.035% S Máximo	0.10% Si Mínimo	0.15% Mo Máximo	0.40% Cr Máximo	
Esfuerzo Mínimo de tensión según especificación				60.000 psi		

Fuente: REPORTE No: 005- Caracterización Tubería y accesorios.

Tabla No. 15. Propiedades Muestra M24 (Colada 43211K). FECHA: 11/08/2015

Tabla 3 Requerimientos Químicos A106 Gr B

	Composition, %		
	Grade A	Grade B	Grade C
Carbon, max	0.25 ^A	0.30 ^B	0.35 ^B
Manganese	0.27–0.93	0.29–1.06	0.29–1.06
Phosphorus, max	0.035	0.035	0.035
Sulfur, max	0.035	0.035	0.035
Silicon, min	0.10	0.10	0.10
Chrome, max ^C	0.40	0.40	0.40
Copper, max ^C	0.40	0.40	0.40
Molybdenum, max ^C	0.15	0.15	0.15
Nickel, max ^C	0.40	0.40	0.40
Vanadium, max ^C	0.08	0.08	0.08

^A For each reduction of 0.01 % below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 % manganese above the specified maximum will be permitted up to a maximum of 1.35 %.

^B Unless otherwise specified by the purchaser, for each reduction of 0.01 % below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 % manganese above the specified maximum will be permitted up to a maximum of 1.65 %.

^C These five elements combined shall not exceed 1 %.

Fuente: A106/A106M – 10Standard Specification for Seamless Carbon Steel

Pipe for High-Temperature Service.

Requerimientos Químicos % de composición: Comparando la **Tabla 2** Propiedades Muestra M24 (Colada 43211) y la **Tabla 3** Requerimientos Químicos A106 Gr B del Estándar ASTM

A106 se valida que los valores de composición química están dentro de los rangos máximo o mínimo para cada elemento mostrados.

Dureza del material: Comparando los resultados de los ensayos por dureza para el material A106 de la **Tabla 2** Propiedades Muestra M24 (Colada 43211) con una dureza de 143HV y en la **Tabla 4** Valores de dureza aproximada aceros austeníticos y no austeníticos del estándar ASTM A 370 equivalente a 144HV identificado en color rojo a continuación y en la última columna de la misma tabla se corrobora un valor próximo a la tracción de 69000psi (475MPa) que al compararlos con la **Tabla 5 Requerimientos a Tracción del Material A106GRB** da unos valores un poco más bajos 60000 psi (415 MPa) que nos da certeza que la resistencia a la tracción del material seleccionado para la tubería es mayor.

Tabla 4 Valores de dureza aproximada aceros no austeníticos.

TABLE 3 Approximate Hardness Conversion Numbers for Non-austenitic Steels^A (Rockwell B to Other Hardness Numbers)

Rockwell B Scale, 100- kgf Load 1/16- in. (1.588- mm) Ball	Vickers Hardness Number	Brinell Hardness, 3000-kgf Load, 10-mm Ball	Knoop Hardness, 500-gf Load and Over	Rockwell A Scale, 60-kgf Load, Diamond Penetrator	Rockwell F Scale, 60-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	Rockwell Superficial Hardness			Approximate Tensile Strength ksi (MPa)
						15T Scale, 15-kgf Load, 1/16-in. (1.588- mm) Ball	30T Scale, 30-kgf Load, 1/16-in. (1.588- mm) Ball	45T Scale, 45-kgf Load, 1/16-in. (1.588- mm) Ball	
79	147	147	161	48.9	...	86.3	69.1	51.8	70 (485)
78	144	144	158	48.4	...	86.0	68.4	50.8	69 (475)
77	141	141	155	47.9	...	85.6	67.7	49.8	68 (470)
76	139	139	152	47.3	...	85.3	67.1	48.8	67 (460)
75	137	137	150	46.8	99.6	85.0	66.4	47.8	66 (455)

FUENTE: ASTM A 370 Standard Test Methods and Definitions for

Mechanical Testing of Steel Products¹

Según los requerimientos a tracción numeral 10 del estándar **ASTM A106** el material debe ajustarse a las propiedades de tracción indicados en la **Tabla 5**.

Tabla 5 Requerimientos a Tracción del material A106 Gr B.

	Grade A		Grade B		Grade C	
Tensile strength, min, psi [MPa]	48 000 [330]		60 000 [415]		70 000 [485]	
Yield strength, min, psi [MPa]	30 000 [205]		35 000 [240]		40 000 [275]	
	Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %:						
Basic minimum elongation transverse strip tests, and for all small sizes tested in full section	35	25	30	16.5	30	16.5
When standard round 2-in. [50-mm] gage length test specimen is used	28	20	22	12	20	12
For longitudinal strip tests	A		A		A	
For transverse strip tests, a deduction for each 1/32-in. [0.8-mm] decrease in wall thickness below 5/16 in. [7.9 mm] from the basic minimum elongation of the following percentage shall be made		1.25		1.00		1.00

Fuente: A106/A106M – 10 Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High Temperature Service. Table 2 Tensile Requirement.

5.1.2 Procesos de fabricación de los materiales.

5.1.2.1 Estándar ASTM A106.

El estándar nos indica según Capítulo 4 Proceso bajo el cual se obtiene o fabrica la tubería; numeral 4.4 que este material se suministrará terminado en caliente a menos que de mutuo acuerdo permitan suministrar la tubería trabajada en frío.

Capítulo 5. Tratamiento Térmico nos indica que una tubería acabada en caliente no necesita ser tratada térmicamente y la tubería trabajada en frío mediante extrusión deberá ser tratada térmicamente a una temperatura de 650°C (1200°F) o superior.

5.1.2.2 Acero ASTM A-283 GR C: Láminas Tanques.

A continuación, se identifica el material de las láminas de los tanques **TK402** y **TK403** por medio de la información recopilada en el dossier de fabricación y construcción, información suministrada por la planta Apiay.

El material de las láminas de los dos tanques a intervenir es Acero A283 Grado C, este material cumplirá la función de material de respaldo para la junta en estudio.

Lamina del primer anillo del tanque en acero al carbono ASTM A283 Gr C, este material se corroboró con el dossier de fabricación del tanque TK402 espesor 13,2mm) y TK403 espesor (12.8mm) equivalente a ½”.

5.1.2.3 Acero al carbono ASTM A-36: Lámina de Refuerzo.

Se seleccionó como lámina para la ruana de las boquillas el material Acero al Carbono A-36 teniendo en cuenta la sección **4 Materiales** numeral **4.2.2 Especificación ASTM**, del API 650 donde nombra lo siguiente:

Las láminas que cumplen con las siguientes especificaciones ASTM son aceptables siempre que las placas estén dentro de las limitaciones establecidas.

ASTM A36M / A36 para placas con un grosor máximo de 40 mm (1,5 pulgadas).

Alcance del numeral 1.6 Para los productos estructurales fabricados a partir de bobinas y suministrados sin tratamiento térmico o sólo con alivio de tensiones, se aplicarán los requisitos adicionales, incluidos los requisitos de ensayo adicionales y la presentación de resultados de ensayos adicionales, de A 6 / A 6M.

5.1.2.4 Requerimientos químicos y de tracción.

En la **Tabla 6** se identifican los Requerimientos Químicos y en la **Tabla 7** Los Requerimientos a tracción para nuestro caso en particular tomamos los valores mínimos con los que debe cumplir el material para la ruana de la conexión en los tanques TK402/403.

Tabla 6 Requerimientos Químicos

NOTE 1— Where “. . .” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^A	Plates ^B					Bars			
Thickness, in. [mm]	All	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	...	...	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Fuente: ASTM A 36/A 36M – 03 Standard Specification for Carbon Structural Steel Table 2.

Tabla 7 Requerimientos a tracción

Plates, Shapes,^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars^{D,E}:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

Fuente: ASTM A 36/A 36M – 03 Standard Specification for Carbon Structural Steel Table 3.

En la **Tabla 8** se identifican los valores de resistencia a la tracción de los dos materiales involucrados evidenciando que estos poseen un comportamiento mecánico del material similar, lo cual nos da garantía de la resistencia que posee el material al momento de entrar en servicio.

Tabla 8 Resumen Resistencia a la tracción de Materiales.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		
INFORMACIÓN DE REFERENCIA	A-106 TUBERÍA	A-36 LÁMINA REFUERZO
INSPECCIÓN PMI	69000 PSI	-----
NORMA DE REFERENCIA DE MATERIALES	60000 PSI	58000 PSI

Fuente: Autor.

5.1.3 Identificación del Número P y Grupo del material.

Seleccionados e identificados los materiales a trabajar por medio de la **Tabla 9** se identifica el número P y grupo al cual pertenecen los materiales.

Tabla 9 Tabla QW/QB-422 Numero P y Grupo del Material

Table QW/QB-422 Ferrous/Nonferrous P-Numbers Grouping of Base Metals for Qualification										
Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Welding		Brazing		ISO 15608 Group	Nominal Composition	Product Form
				P-No.	Group No.	P-No.	Group			
Ferrous										
A/SA-36	..	K02600	58 (400)	1	1	101	11.1	C-Mn-Si		Plate, bar & shapes
A/SA-53	Type F	K03005	48 (330)	1	1	101	11.1	C		Furnace welded pipe
A/SA-53	Type S, Gr. A	K02504	48 (330)	1	1	101	1.1	C		Smls. pipe
A/SA-53	Type E, Gr. A	K02504	48 (330)	1	1	101	1.1	C		Resistance welded pipe
A/SA-53	Type E, Gr. B	K03005	60 (415)	1	1	101	11.1	C-Mn		Resistance welded pipe
A/SA-53	Type S, Gr. B	K03005	60 (415)	1	1	101	11.1	C-Mn		Smls. pipe
A/SA-105	..	K03504	70 (485)	1	2	101	11.1	C		Flanges & fittings
A/SA-106	A	K02501	48 (330)	1	1	101	1.1	C-Si		Smls. pipe
A/SA-106	B	K03006	60 (415)	1	1	101	11.1	C-Mn-Si		Smls. pipe
A/SA-106	C	K03501	70 (485)	1	2	101	11.1	C-Mn-Si		Smls. pipe

Fuente: ASME 2013 Sección IX Tabla QW/QB-422

Se debe garantizar el mismo material o material apropiado para láminas de refuerzo o las utilizadas para las aperturas de boquillas en las láminas de cuerpo del tanque según recomienda el

Estándar API650 numeral 4.2.10.4 Requerimientos de Dureza para los materiales. Ver **Tabla 10** Grupos de Materiales.

Tabla 10 Grupos de Materiales

Table 4.4a—Material Groups (SI)

(See Figure 4.1a and Note 1 below.)

Group I As Rolled, Semi-Killed		Group II As Rolled, Killed or Semi-Killed		Group III As Rolled, Killed Fine-Grain Practice		Group IIIA Normalized, Killed Fine-Grain Practice	
Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes
A283M C	2	A131M B	6	A573M-400		A573M-400	9
A285M C	2	A36M	2, 5	A516M-380		A516M-380	9
A131M A	2	G40.21-260W		A516M-415		A516M-415	9
A36M	2, 3	Grade 250	7	G40.21-260W	8	G40.21-260W	8, 9
Grade 235	3			Grade 250	8	Grade 250	8, 9
Grade 250	5						

NOTES

- Most of the listed material specification numbers refer to ASTM specifications (including Grade or Class); there are, however, some exceptions: G40.21 (including Grade) is a CSA specification; Grades E275 and E355 (including Quality) are contained in ISO 630; Grades S275 and S355 (including quality) are contained in EN10025; and Grade 235, Grade 250, and Grade 275 are related to national standards (see 4.2.6).
- Must be semi-killed or killed.
- Thickness ≤ 20 mm.
- Deleted.**
- Manganese content shall be 0.80 % to 1.2 % by heat analysis for thicknesses greater than 20 mm, except that for each reduction of 0.01 % below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 % manganese above the specified maximum will be permitted up to the maximum of 1.35 %. Thicknesses ≤ 20 mm shall have a manganese content of 0.80 % to 1.2 % by heat analysis.
- Thickness ≤ 25 mm.
- Must be killed.
- Must be killed and made to fine-grain practice.
- Must be normalized.
- Must have chemistry (heat) modified to a maximum carbon content of 0.20 % and a maximum manganese content of 1.60 % (see 4.2.7.4).
- Produced by the thermo-mechanical control process (TMCP).
- See 5.7.4.6 for tests on simulated test coupons for material used in stress-relieved assemblies.
- See 4.2.10 for impact test requirements (each plate-as-rolled tested).

Fuente: ASME SECC XI.

5.2 Espesor de materiales seleccionados

En la selección de espesores de materiales tenemos el criterio de selección de espesor máximo calificado según ASME SECC IX nombrado

Tabla 11 Espesor de materiales seleccionados.

RANGO DE ESPESOR	
PLATINA:	ASTM A36 $\frac{1}{2}$ " (12mm)
TUBERÍA:	ASTM A106 Gr C $\frac{3}{8}$ " 0.375in (9,5mm) = STD

Fuente: Autor

5.2.1 Espesor para lámina de refuerzo de la conexión del Tanque TK 402/403.

En la tabla 12 del API 653 nos recomienda el espesor mínimo de láminas, para una conexión de Ø14" y Ø18", como en la tabla no nos indica este diámetro seleccionamos el mayor valor para la conexión de 16" un espesor de $\frac{1}{2}$ " (12mm), considerando también los materiales disponibles y los espesores comercialmente usados en la industria.

Tabla 12. Selección de espesor mínimo de lámina de conexión según diámetro.

Connection Size, NPS (in.)	Minimum Shell Plate Thickness (in.)
≤ 6	$\frac{3}{16}$
≤ 8	$\frac{1}{4}$
≤ 14	$\frac{9}{16}$ (9,5mm)
≤ 18	$\frac{1}{2}$ (12mm)

(10,75mm)

Fuente: API 653 Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction
Table 9.1—Hot Tap Connection Sizes and Shell Plate Thicknesses

5.2.2 Espesor para tubería de 16" ASTM A106 de la conexión del Tanque TK 402/403.

Se calificó con tubería de 8" con espesor de tubería 0.281 in, suministrada por el Ecopetrol. Ver tabla 16.

QW-403.27 El espesor máximo calificado es el espesor del cupón de prueba T, o es ilimitado si el cupón de prueba es 38 mm (1 1/2 in) de espesor o más grueso. Sin embargo, cuando T es 1/4 in. (6 mm) o menos, el espesor máximo calificado es 2T. Esta limitación se aplica tanto a soldaduras de filete como a soldaduras de ranuras.

Considerando el espesor del material a soldar equivalente a 0,28in (7,14mm), aplico el numeral anterior para calcular el espesor máximo a calificar puede ser $2T=14.28\text{mm}$.

Para los trabajos a realizar la tubería utilizada puede ser espesor de pared mayor a 0.375in (3/8" =9,5mm)

Tabla 13. Dimensiones y pesos para tubería sin costura según diámetros y espesor.

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
16	16.000	0.250	42.09	...	10	400	406.4	6.35	62.65
16	16.000	0.281	47.22	...	...	400	406.4	7.14	70.30
16	16.000	0.312	52.32	...	20	400	406.4	7.92	77.83
16	16.000	0.344	57.57	...	...	400	406.4	8.74	85.71
16	16.000	0.375	62.64	STD	30	400	406.4	9.53	93.27
16	16.000	0.406	67.68	...	...	400	406.4	10.31	100.71
16	16.000	0.438	72.86	...	...	400	406.4	11.13	108.49
16	16.000	0.469	77.87	...	...	400	406.4	11.91	115.87

Fuente: ASME B36.10M-2004 WELDED AND SEAMLESS WROUGHT STEEL PIPE
Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe pág.15

5.3 Precalentamiento

Determinar la temperatura de precalentamiento óptima para los materiales se realizará por medio del cálculo del carbono equivalente. Es una manera de cuantificar la influencia de los diferentes

elementos aleantes en los aceros en estudio, sobre la soldabilidad metalúrgica del mismo. Para el caso particular de los materiales seleccionados se realizó el cálculo del carbono equivalente mediante las fórmulas de Cottrell, Bradstreet y Seferian.

Revisando el estándar API 650 en el numeral 7.2 Detalles de la Soldadura en la **Tabla 15** se indica las temperaturas mínimas de precalentamiento para los materiales del grupo II, III. Considerando que espesores menores e iguales a 32mm no requiere de precalentamiento.

Tabla 14. Control de temperaturas en el proceso de soldadura SMAW.

PRECALENTAMIENTO (QW-406)				
TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO:	Mínima	70°C	Máxima:	100°C
TEMPERATURA ENTRE PASES:	Mínima	70°C	Máxima:	100°C
Otros:	No se debe dejar más de 10 min entre pases cumpliendo temperaturas			

Fuente: Autor.

Tabla 15. Temperatura Mínima de Pre-Calentamiento.

Material Group per Table 4-4a	Thickness (t) of Thicker Plate (mm)	Minimum Preheat Temperature
Groups I, II, III & IIIA	$t \leq 32$	0 °C
	$32 < t \leq 40$	10 °C
	$t > 40$	93 °C
Groups IV, IVA, V & VI	$t \leq 32$	10 °C
	$32 < t \leq 40$	40 °C
	$t > 40$	93 °C

Fuente API 650. Table 7.1a (SI) Minimum Preheat Temperatures

Los elementos aleantes como C, Si y Mn presentes en el material de aporte y material base en el proceso de soldadura reducen la composición de estos elementos en el metal fundido, modificando la composición química de este.

- **Carbono:** Con el aumento de este elemento se aumenta la templabilidad, lo cual puede generar el aumento de volumen en los montajes lo cual ocasiona el surgimiento de tensiones internas y disminución de propiedades mecánicas.
- **Manganeso:** Elemento que favorece la templabilidad, pero su contenido debe ser limitado.
- **Silicio:** Elemento Reductor, La cantidad de este elemento debe limitarse debido a que aumenta la fragilidad de la unión soldada.
- **Níquel:** En contenidos del 3% al 5% aumenta la resistencia sin aumentar la fragilidad de la unión soldada, con contenidos mayores aumenta la templabilidad de la unión.
- **Fórmula para Cálculo del Carbono Equivalente:**

$$[C] = C + Mn/20 + Ni/15 + (Cr + Mb + V)/10$$

Ver **Tabla 19** de resumen de resultados de cálculo del carbono equivalente para los aceros A106 Gr B y acero A36.

5.3.1 Determinación de la temperatura de precalentamiento.²

² Según método de la B.W.R.A British Welding Research Association. Descripción del método en el libro METALURGIA DE LA SOLDADURA; OSMUNDO HECTOR RODRIGUEZ PÉREZ. EDITORIAL UNIVERSITARIA, 2013 ISBN 978-95916-2101-6. 196 PÁGINAS.

5.3.1.1 *Determinación del índice de soldabilidad.*

El electrodo empleado será del tipo básico, cuya característica es contenido de bajo hidrógeno, con los valores de Carbono Equivalente obtenidos para los dos materiales del acero A106 GrB y A36 se debe identificar la letra equivalente que define el índice de soldabilidad de la última columna de la **Tabla 16**.

Tabla 16. Tabla Índice de Soldabilidad.


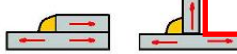
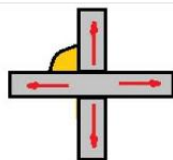
Equivalente en Carbono [C] ²		Letra que define el índice de soldabilidad
Electrodos rutilo	Electrodos básico	
< 0.20	< 0.25	A
0.21 – 0.23	0.26 – 0.3	B
0.24 – 0.27	0.31 – 0.35	C
0.28 – 0.32	0.36 – 0.40	D
0.33 – 0.38	0.41 – 0.45	E
0.39 – 0.45	0.46 – 0.5	F
> 0.45	> 0.5	G

Fuente: Metalurgia De La Soldadura; Osmundo Hector Rodríguez Pérez.
Editorial Universitaria, 2013

5.3.1.2 *Determinación del número de severidad térmica.*

Considerando los espesores de material seleccionados dentro del rango aplicable y los caminos de dispersión de calor presentes del material según la geometría se aprecian en la **Tabla 17**. Número de Severidad Térmica.

Tabla 17. Número de Severidad Térmica.

Tipo de unión soldada	Caminos de dispersión del calor	Espesor de las planchas (mm)	NST
	2	6 y 6	12
	2	6 y 12	3
	2	6 y 18	4
	2	12 y 12	4
	2	24 y 24	8
	2	24 y 24	12
	3	6 y 12	8
	2	12 y 12	6
	3	24 y 24	12
	4	6 y 6	7
	4	12 y 12	8
	4	24 y 24	16
	4	6+12+12+12	4

Fuente: Metalurgia De La Soldadura; Osmundo Hector Rodríguez Pérez.
Editorial Universitaria, 2013

5.3.1.3 Determinación de la temperatura mínima de precalentamiento.

En la Tabla 19 se determina el valor de la temperatura de precalentamiento teniendo en cuenta el índice de soldabilidad B y F (en este caso particular no hay Temperatura recomendada para el índice B motivo por el cual se utiliza la fórmula para hallar TP=Temperatura de precalentamiento para los dos índices).

Hallando el número de severidad térmica NST=3 se incluye un factor adicional y es el diámetro del electrodo, para nuestro caso es de $3/32'' = 2.38\text{mm}$ y $1/8'' = 3.17\text{mm}$, según la **Tabla 18**. Temperatura Mínima de Precalentamiento se empleará un diámetro de electrodo de 3,2mm de diámetro.

Tabla 18. Temperatura Mínima de Pre calentamiento.

TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO MÍNIMA NECESARIA [78]						
Numero de severidad térmica (NST)	Indice de Soldabilidad	Temperatura de pre calentamiento mínima necesaria (°C)				
		Diámetro de los electrodos (mm)				
		3.2	4	5	6	8
2	D	0				
	E	50				
	F	125	25			
3	C	0				
	D	75				
	E	100	25			
	F	150	100	25		
4	C	50				
	D	100	25			
	E	125	75			
	F	175	125	75		
6	B	50				
	C	100	25			
	D	150	100	25		
	E	175	125	75		
	F	225	175	125	75	
8	C	125	75	25		
	D	175	125	75		
	E	200	150	125	50	25
	F	225	200	175	125	50
12	A	75	25			
	B	125	75	25		
	C	150	125	75		
	D	200	175	125	75	
	E	225	200	175	100	50
	F	250	225	200	150	125
16	A	75	25			
	B	125	75	50		
	C	175	150	125	50	25
	D	200	175	175	125	50
	E	225	200	200	150	100
	F	250	250	250	200	150
24	A	75	25			
	B	125	75	50	25	
	C	175	150	125	75	25
	D	200	175	175	125	100
	E	225	200	200	175	150
	F	250	250	225	200	200

Fuente: Metalurgia De La Soldadura; Osmundo Hector Rodríguez Pérez..Editorial Universitaria, 2013

Reemplazando en la siguiente ecuación los términos respectivos, se obtienen los resultados de temperatura mínima de pre calentamiento para los dos aceros.

$$Tp = 350 * \{ [C] - 0,25 \}^{\frac{1}{4}}$$

Tabla 19. Resumen de valores para hallar la Temperatura de Pre calentamiento Mínima.

	A106	A36
Porcentaje Contenido Carbón	Medio	Bajo
(% C eq) Carbono Equivalente	0,422	0,29
(IS) Índice Soldabilidad para electrodo básico	F	B
T° Mín. Pre calentamiento Formula Seferian.	140°C	70°C

Fuente: Autor.

Con el fin precalentar los materiales para realizar la junta soldada se selecciona como temperatura mínima de precalentamiento para los dos materiales la equivalente a 70°C con el fin de no producir cambios estructurales bruscos considerando las condiciones climáticas de 25°-35°C en el sitio del trabajo y teniendo en cuenta un enfriamiento al medio ambiente.

Cómo método para el control de calidad y generar un control en el proceso de aplicación de la soldadura para el proyecto, se determinó tener controles mínimos y máximos de temperatura para el trabajo de campo ver **tabla 14**.

Se determinó el uso de antorcha para mantener una temperatura mínima de 70°C de precalentamiento para el primer pase y siguientes, con el fin de reducir efectos producidos por la humedad en la zona donde se van a realizar los trabajos.

5.4 Temperatura entre pases

Con el fin de precalentar los materiales para realizar la junta soldada se selecciona como temperatura mínima de precalentamiento para los dos materiales la temperatura de precalentamiento mínima según numeral 5.3.

Tabla 20. Control de temperaturas en el proceso de soldadura SMAW.

PRECALENTAMIENTO (QW-406)				
TEMPERATURA ENTRE PASES:	Mínima	70°C	Máxima:	100°C
Otros:	No se debe dejar más de 10 min entre pases cumpliendo temperaturas.			

Fuente: Autor.

5.5 Enfriamiento

Se realizará enfriamiento a temperatura ambiente entre 25°C y 35°C. por ser materiales de bajo contenido de carbono que no sufren temple.

5.6 Tratamiento Térmico

Según el Código ASME sección IX numeral QW-407 Tratamiento térmico post Soldadura, no se requiere tratamiento térmico para materiales de espesores iguales o menores a ½”, y por ser aceros de bajo contenido de carbono, maleables, las tensiones internas producidas son bajas.

Tabla 21. Tratamiento Térmico.

TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDADURA (QW-407)	
RANGO DE TEMPERATURA	N/A
RANGO DE TIEMPO	N/A

Fuente: Autor.

5.7 Junta

La conexión (brida, niple, ruana o lámina de refuerzo) se soldará sobre el cuerpo del tanque, lámina de material ASTM A 283 grado B que actuará como material de respaldo a la junta.

Tabla 22. Diseño de la Junta a soldar.

JUNTA (QW-402)	
DISEÑO DE JUNTA	JUNTA A TOPE
RESPALDO	Si
ESPACIAMIENTO DE RAIZ	1/8"-3/8" (3,1mm-9,5mm)
RESPALDO	Si
MATERIAL DE RESPALDO	A283GrB

Fuente: Autor.

A continuación, se puede apreciar una serie de gráficas y tablas requeridas para definir el dimensionamiento y diseño de la junta considerando diferentes numerales del Estándar API 650 y API 653.

La **Imagen 1** muestra los requerimientos mínimos de soldadura para conexiones. Para la aplicación del proyecto se seleccionó la designada como RTR (Regular –Type Reinforcement Opening), está acompañada de una tabla donde se representan las dimensiones mínimas

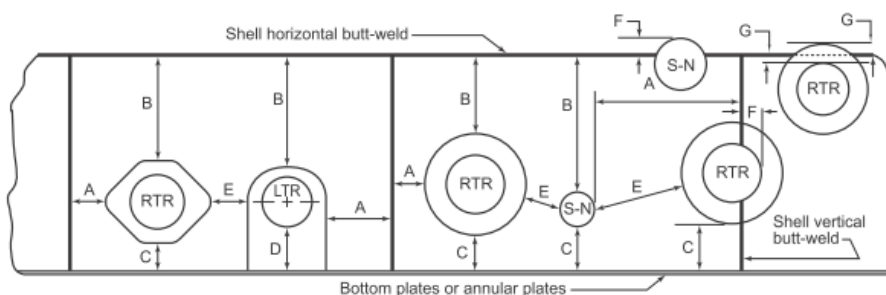
permisibles para su montaje, y si tienen juntas soldadas cercanas pertenecientes a soldaduras verticales de unión entre láminas del tanque y/o conexiones próximas, con las que pudiera presentar interferencia entre cordones de soldadura adyacentes de conexiones existentes en los tanques a intervenir indicadas en rojo para láminas de espesor menor e igual a $\frac{1}{2}$ ".

En la **Imagen 2** Tolerancias dimensionales para boquillas, se detalla cómo debe quedar montada la conexión al tanque a intervenir.

En la **Imagen 3** Dimensiones para Conexiones, se representan mediante letras las cotas requeridas a tomar como referencia para el prefabricado.

Imagen 1. Requerimientos mínimos para soldadura para aberturas

Sobre lámina en el cuerpo de tanques.



- RTR** = Regular-Type Reinforced Opening (nozzle or manhole) with diamond or circular shape reinforcing plate or insert plate that does not extend to the bottom (see Figure 5.7a and Figure 5.8).
- LTR** = Low-Type Reinforced Opening (nozzle or manhole) using tombstone type reinforcing plate or insert plate that extends to the bottom [see Figure 5.8, Detail (a) and Detail (b)].
- S-N** = Shell openings with neither a reinforcing plate nor with a thickened insert plate (i.e. integrally reinforced shell openings; or openings not requiring reinforcing).

Variables		Reference	Minimum Dimension Between Weld Toes or Weld Centerline (Notes 1 and 3)						
Shell t	Condition	Paragraph Number	A (2)	B (2)	C (2)	D (3)	E (2)	F (4)	G (4)
$t \leq 12.5 \text{ mm}$ ($t \leq 1/2 \text{ in.}$)	As welded or PWHT	5.7.3.2	150 mm (6 in.)	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$		75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$		
		5.7.3.3			75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$				
		5.7.3.3			75 mm (3 in.) for S-N				
		5.7.3.3				Table 5.6a and Table 5.6b			
		5.7.3.4						$8r$ or $1/2 r$	$8r$
$t > 12.5 \text{ mm}$ ($t > 1/2 \text{ in.}$)	As Welded	5.7.3.1.a	$8W$ or 250 mm (10 in.)	$8W$ or 250 mm (10 in.)			$8W$ or 150 mm (6 in.)		
		5.7.3.1.b							
		5.7.3.3			$8W$ or 250 mm (10 in.)				
		5.7.3.3			75 mm (3 in.) for S-N	Table 5.6a and Table 5.6b		$8r$ or $1/2 r$	$8r$
		5.7.3.4							
$t > 12.5 \text{ mm}$ ($t > 1/2 \text{ in.}$)	PWHT	5.7.3.2	150 mm (6 in.)	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$		75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$		
		5.7.3.3			75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$				
		5.7.3.3			75 mm (3 in.) for S-N				
		5.7.3.3				Table 5.6a and Table 5.6b			
		5.7.3.4						$8r$ or $1/2 r$	$8r$

NOTE 1 If two requirements are given, the minimum spacing is the greater value, except for dimension "F." See Note 4.

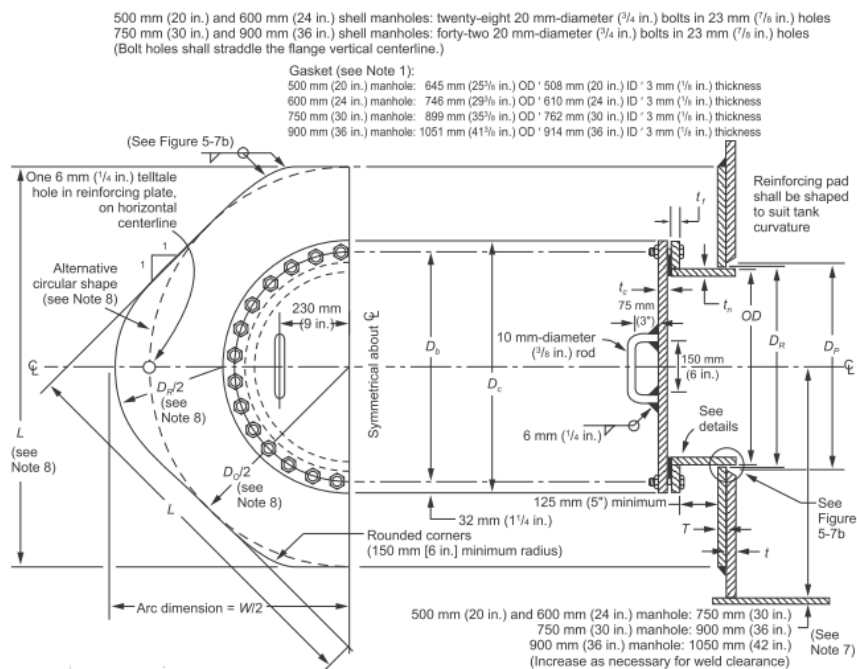
NOTE 2 t = shell thickness. $8W$ = 8 times the largest weld size for reinforcing plate or insert plate periphery weld (fillet or butt-weld) from the toe of the periphery weld to the centerline of the shell butt-weld.

NOTE 3 D = spacing distance established by minimum elevation for low-type reinforced openings from Table 5.6a and Table 5.6b, column 9.

NOTE 4 Purchaser option to allow shell openings to be located in horizontal or vertical shell butt-welds. See Figure 5.9. t = shell thickness, r = radius of opening. Minimum spacing for dimension F is the lesser of $8r$ or $1/2 r$.

Fuente. API 650 Figure 5.6—Minimum Weld Requirements for Openings in Shell According to 5.7.3

Imagen 2. Tolerancias dimensionales para boquillas.

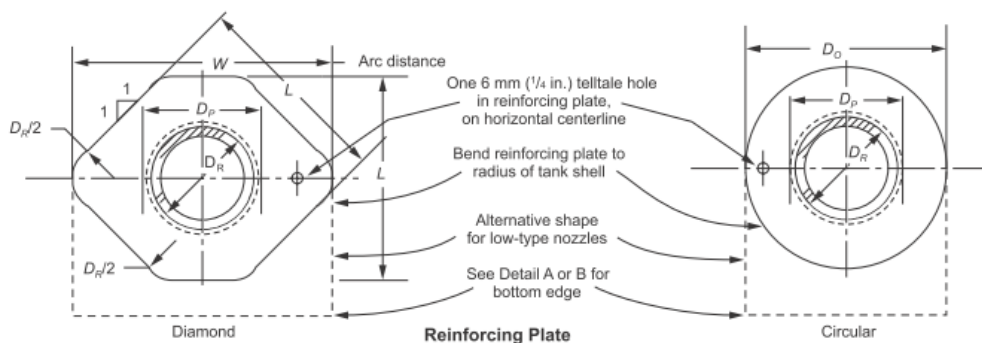


NOTES

- Gasket material shall be specified by the Purchaser. See 5.7.5.4.
- The gasketed face shall be machine-finished to provide a minimum gasket-bearing width of 19 mm ($\frac{3}{4}$ in.).
- See Table 5.3a and Table 5.3b.
- See Table 5.4a and Table 5.4b.
- The size of the weld shall equal the thickness of the thinner member joined.
- The shell nozzles shown in Figure 5.8 may be substituted for manholes.
- The minimum centerline elevations allowed by Table 5.6a, Table 5.6b, and Figure 5.6 may be used when approved by the Purchaser.
- For dimensions for OD , D_R , D_o , L , and W , see Table 5.6a and Table 5.6b, Columns 2, 4, 5, and 6. For Dimension D_p see Table 5.7a and Table 5.7b, Column 3.
- At the option of the Manufacturer, the manhole ID may be set to the OD dimension listed in Table 5.6a and Table 5.6b, Column 2. Reinforcement area and weld spacing must meet 5.7.2 and 5.7.3 requirements respectively.

Fuente. API 650 Table 5.7a—Shell Manhole

Imagen 3. Dimensiones para Conexiones.



Fuente. IAPI 650 Figure 5.8—Shell Nozzles
 (See Tables 5.6a, 5.6b, 5.7a, 5.7b, 5.8a, and 5.8b)

La **Imagen 4** Dimensiones para conexiones en SI (mm), identifica el valor numérico correspondiente para la conexión.

Imagen 4. Dimensiones para conexiones en SI.

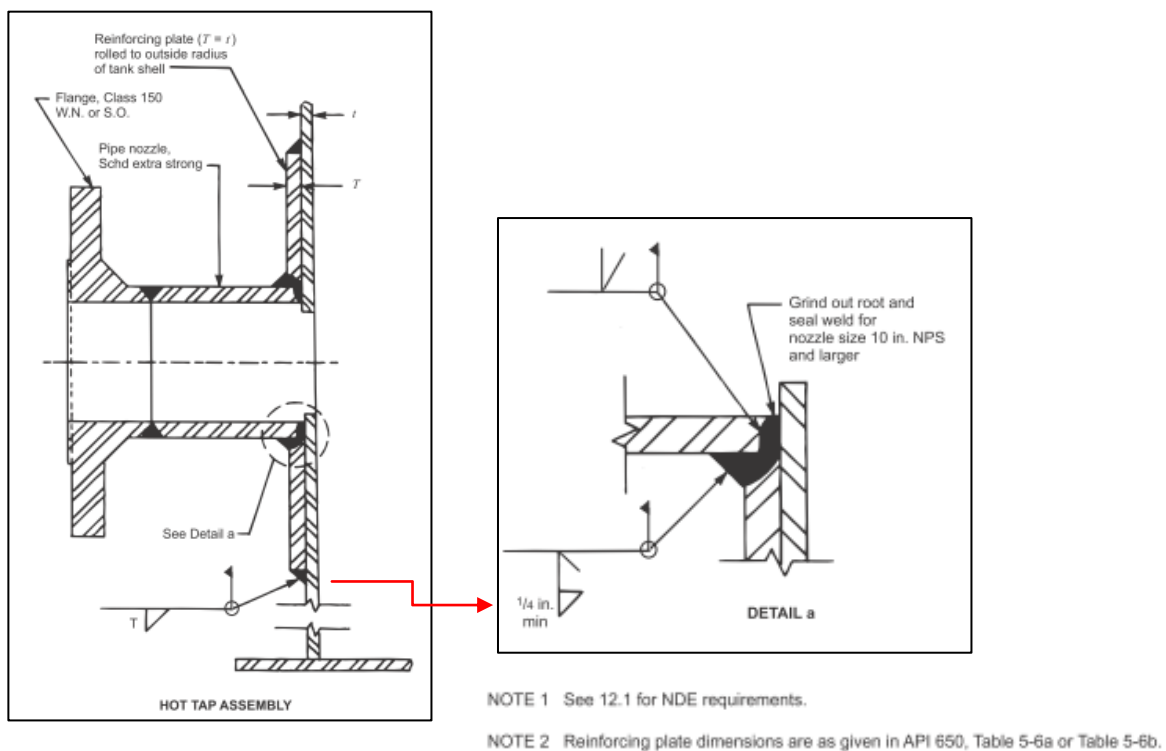
Dimensions in millimeters

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9 ^c
NPS (Size of Nozzle)	Outside Diameter of Pipe <i>OD</i>	Nominal Thickness of Flanged Nozzle Pipe Wall ^a <i>t_n</i>	Diameter of Hole in Reinforcing Plate <i>D_R</i>	Length of Side of Reinforcing Plate ^b or Diameter <i>L = D_R</i>	Width of Reinforcing Plate <i>W</i>	Minimum Distance from Shell- to-Flange Face <i>J</i>	Minimum Distance from Bottom of Tank to Center of Nozzle	
							Regular Type ^d <i>H_N</i>	Low Type <i>C</i>
28	711.2	e	714	1440	1745	300	826	720
26	660.4	e	664	1340	1625	300	776	670
24	609.6	12.7	613	1255	1525	300	734	630
22	558.8	12.7	562	1155	1405	275	684	580
20	508.0	12.7	511	1055	1285	275	634	525
18	457.2	12.7	460	950	1160	250	581	475
16	406.4	12.7	410	850	1035	250	531	425
14	355.6	12.7	359	750	915	250	481	375
12	323.8	12.7	327	685	840	225	449	345
10	273.0	12.7	276	585	720	225	399	290
8	219.1	12.7	222	485	590	200	349	240
6	168.3	10.97	171	400	495	200	306	200
4	114.3	8.56	117	305	385	175	259	150
3	88.9	7.62	92	265	345	175	239	135
2 ^f	60.3	5.54	63	—	—	150	175	h
1½ ^f	48.3	5.08	51	—	—	150	150	h
1 ^f	33.4	6.35	—	—	—	150	150	h
¾ ^f	26.7	5.54	—	—	—	150	150	h

Fuente. API650 Table 5.6a—Dimensions for Shell Nozzles (SI) (Continued).

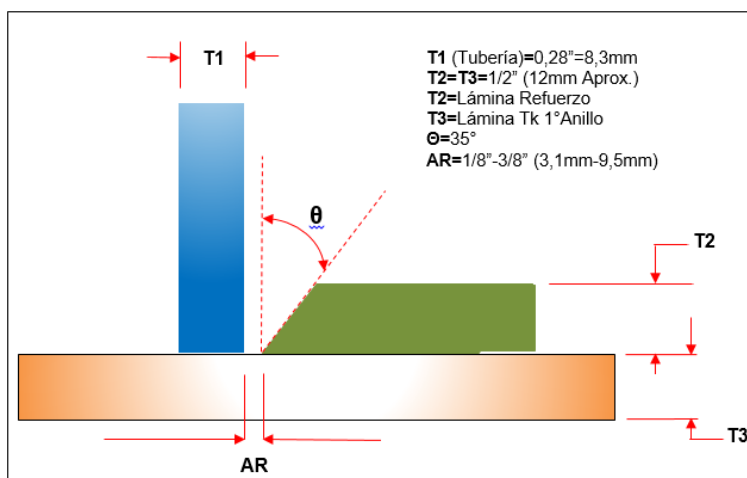
El API 650 recomienda ver las tablas 5-7a y 5-7b para los tamaños de soldadura según espesores de lámina, sin embargo no es recomendable para nuestro caso ya que el tipo de junta difiere de la presentada por el API 653 (Ver **Imagen 5**), la cual nos recomienda el tipo de junta aplicar, analizando nuestro caso tomaremos de 35° a 40° de bisel para la tubería.

*Imagen 5. Esquema representativo de juntas soldadas para boquillas montadas
Para realización de Hot Tap.*



Fuente. API 653 Figure 9.14—Hot Tap for Tanks (See Note 1)

Imagen 6. Esquema de producción diseño de la Junta.



Fuente. Autor

5.8 Posición

Tabla 23. Posición para soldar.

POSICIONES (QW-405)	
POSICIÓN DE RANURA:	5G
POSICIÓN DE FILETE:	Todas
PROGRESIÓN DE SOLDADURA:	Ascendente

Fuente: Autor.

Según el esquema de producción de diseño de la junta ilustrado en la **Imagen 6**, se realizarán dos juntas, una a ranura en posición 5G y otra sobrepuesta a la primera en filete posición 5F.

En la **Tabla 23**, se identifica la posición 5G para diámetros empleados menores a 24" (Pipe < 24"), la cual califica la posición plana (F), vertical (V) y sobre cabeza (O) y todas las posiciones de filete.

Según ASME QW-122.3 Posición múltiple 5G. Tubo con su eje horizontal y con la ranura de soldadura en un plano vertical. La soldadura se debe hacer sin girar el tubo. Ver **Imagen 7**.

Imagen 7. Soldadura de ranura para tubería.

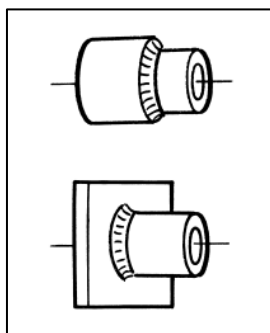


(c) 5G

Figure QW-461.4 Groove Welds in Pipe — Test Positions.

Según ASME literal QW-130 posiciones de prueba para soldadura, tomando como referencia el plano vertical para la soldadura depositada, no se debe girar el tubo durante la soldadura. Ver la **Imagen 8**, Soldadura de filete para soldadura posición 5F.

Imagen 8 Soldadura de filete para tubería



Fuente ASME Figure QW-461.6 Fillet Welds in Pipe
Test Positions illustration (e).

Tabla 24. Calificación de Desempeño Limitaciones de diámetro y posición para soldar.

Table QW-461.9
Performance Qualification — Position and Diameter Limitations
(Within the Other Limitations of QW-303)

Qualification Test		Position and Type Weld Qualified [Note (1)]		
		Groove	Fillet	
Weld	Position	Plate and Pipe Over 24 in. (610 mm) O.D.	Pipe ≤ 24 in. (610 mm) O.D.	Plate and Pipe
Pipe — Groove [Note (3)]	1G	F	F	F
	2G	F,H	F,H	F,H
	5G	F,V,O	F,V,O	All
	6G	All	All	All
	2G and 5G	All	All	All
	Special Positions (SP)	SP,F	SP,F	SP,F
Pipe — Fillet [Note (3)]	1F	...	...	F
	2F	...	...	F,H
	2FR	...	...	F,H
	4F	...	...	F,H,O
	5F	...	...	All
	Special Positions (SP)	...	...	SP,F

NOTES:

(1) Positions of welding as shown in QW-461.1 and QW-461.2.

F = Flat

H = Horizontal

V = Vertical

O = Overhead

(2) Pipe 2⁷/₈ in. (73 mm) O.D. and over.

(3) See diameter restrictions in QW-452.3, QW-452.4, and QW-452.6.

Fuente ASME Figure QW-461.9 Performance Qualification.

5.9 Proceso de soldadura SMAW (Soldadura por arco eléctrico manual con electrodo metálico revestido)

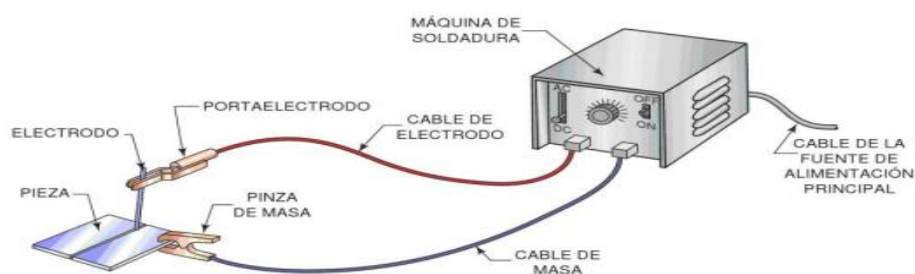
La soldadura por arco eléctrico manual con electrodo revestido o simplemente “Soldadura Eléctrica”, es un proceso de unión por fusión de piezas metálicas. Para lograr la unión, se concentra el calor de un arco eléctrico establecido entre los bordes de las piezas a soldar y una varilla metálica llamada electrodo, produciéndose una zona de fusión que al solidificarse forma la unión permanente.

5.9.1 Principio de funcionamiento de la soldadura por arco eléctrico.

El circuito se cierra momentáneamente, tocando con la punta del electrodo a la pieza de trabajo, y retirándola inmediatamente, formándose de esta manera un arco. El calor funde un área restringida del material base y la punta del electrodo, formando pequeños glóbulos metálicos, cubiertos de escoria líquida, los cuales son transferidos al metal base por fuerzas electromagnéticas, con el resultado de la fusión de dos metales y su solidificación a medida que el arco avanza, según puede verse en la **Imagen 10**.

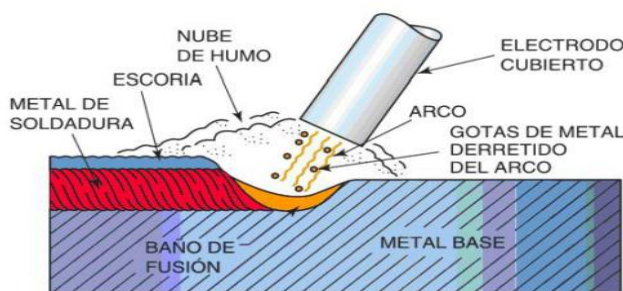
El equipo consta de:

Imagen 9. Equipo de soldadura por arco Metálico Protegido SMAW.



Fuente. LARRY JEFFUS. Soldadura Principios y Aplicaciones.
Ediciones Paraninfo, S.A, 2009.

Imagen 10. Fundamento del proceso SMAW.



Fuente. LARRY JEFFUS. Soldadura Principios y Aplicaciones.
Ediciones Paraninfo, S.A, 2009.

5.9.2 Ventajas del Proceso SMAW.

- Bajo costo, flexibilidad y versatilidad, por esto es el proceso de soldadura más empleado.
- Las máquinas y los electrodos son mas baratos.
- Es un proceso flexible en lo que refiere al espesor del metal que se puede soldar y en la variedad de posiciones en las que se puede emplear.
- Es un proceso muy manejable debido a que el equipo es fácil de mover y transportar, muy útil en trabajos de campo por la baja cantidad de accesorios o equipos adicionales.
- No requiere protección adicional para el metal de aporte (gases).
- Es menos sensible a las corrientes de aire.
- Se puede utilizar en áreas de difícil acceso.
- Se puede utilizar en la mayoría de las aleaciones y metales.

5.9.3 Desventajas del Proceso SMAW.

- No se pueden utilizar para materiales de muy bajo punto de fusión (Pb, Sn, Zn).
- No se pueden utilizar para materiales reactivos (Ti, Zr).
- La cantidad de amperaje a utilizar es limitada y presenta menor rata de deposición que otros procesos (GMAW).

- Presenta menor ciclo de operación que otros procesos por cambio de electrodo y limpieza de escoria.

5.9.4 Equipo para soldadura SMAW.

Dependiendo del tipo de electrodo y del tipo y la posición de la pieza de trabajo, la fuente puede ser de corriente continua o corriente alterna. Si es de corriente continua, y nuevamente en función del tipo de electrodo y la naturaleza de la soldadura que se desea obtener, la conexión del electrodo a la fuente se puede efectuar de dos maneras:

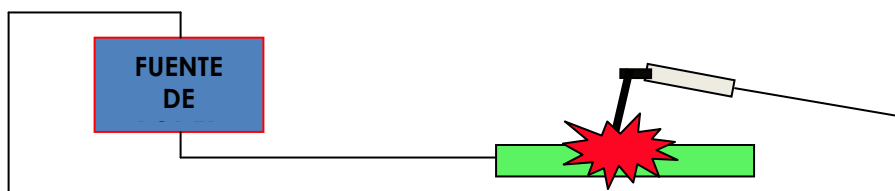
5.9.4.1 Conexión a Terminal Negativo.

En este caso se habla de un electrodo negativo o polaridad directa (DCEN, por sus siglas en inglés). Se utiliza cuando se desean lograr altas tasas de deposición y una baja penetración.

5.9.4.2 Conexión a Terminal Positivo.

Son aquellos capaces de mantener un arco eléctrico entre dos terminales reduciendo el voltaje y aumentando el amperaje de entrada.

Imagen 11. Amperaje Constante (AC-DC).



Fuente 1 LARRY JEFFUS. Soldadura Principios y Aplicaciones.
Ediciones Paraninfo, S.A, 2009.

5.10 Material de aporte

Considerando el numeral 9.14 del Estándar API 653 Hot Taps, específicamente el numeral 9.14.1.3 Requisitos generales, Welding shall be done with low hydrogen electrodes (Las

soldaduras deben ser realizadas con electrodos de bajo hidrógeno), los cuales nos dan garantía de bajo contenido de hidrógeno y baja penetración y, aumento de deposición de material de aporte. Por tal motivo se selecciona un electrodo EXX18 para esta aplicación particular en la junta soldada entre niple de tubería y lámina de refuerzo de la conexión.

Tabla 25. Metal de aporte.

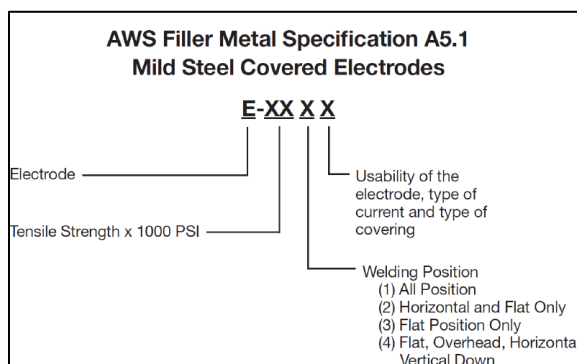
METAL DE APORTE (QW-404)	
ESPECIFICACIÓN SFA	SFA 5.1
CLASIFICACIÓN AWS	E7018
NÚMERO F	4
NÚMERO A	1
DÍAMETRO ELECTRODO	1/8"-3/8"
FORMA DE PRODUCTO	Barra recubierta

Fuente: Autor

5.10.1 Especificación ASME SFA y Número F.

Revisando la **Tabla 25** asociada a la Tabla QW-432 del ASME Número F para electrodos y varillas de soldadura para calificación AWS para el electrodo E7018 el cual tiene equivalencia bajo especificación ASME: SFA-5.1 esta tabla del ASME aplica para aceros y aceros de aleación.

Imagen 12 Especificación para Designación de Electrodos AWS A5.1



Fuente AWS.

Se identifica que según el tipo de electrodo seleccionado, el número F equivalente es 4. Ver primera fila de **Tabla 26**.

5.10.2 Número A.

La identificación de la composición química del metal de soldadura designada en el PQR y el WPS debe ser como se indica en QW-404.5.

Los valores mostrados para los porcentajes de análisis son para valores máximos, ver nota 1 de la **Tabla 27** Referencia QW-442 ASME IX.

Tabla 26. F-Numbers Grupos de electrodos y varillas de soldadura para calificar.

Table QW-432 F-Numbers Grouping of Electrodes and Welding Rods for Qualification			
F-No.	ASME Specification	AWS Classification	UNS No.
4	SFA-5.1	EXX16	...
4	SFA-5.1	EXX18	...
4	SFA-5.1	EXX18M	...
4	SFA-5.1	EXX48	...

Fuente: ASME 2013 Sección IX Tabla QW-432

Analizando el PQR presentado se realizó la calificación con un electrodo E8018C3, el cual tiene las mismas características para soldar aceros al carbón de baja aleación incluyendo Ni, Mo y V como elementos aleantes para mejorar propiedades de la junta soldada, en este caso no son relevantes, motivo por lo cual en campo se va emplear un electrodo E7018.

Tabla 27. A-Numbers Clasificación de Metal de Soldadura.

Table QW-442 A-Numbers Classification of Ferrous Weld Metal Analysis for Procedure Qualification							
A-No.	Types of Weld Deposit	Analysis, % [Note (1)] and [Note (2)]					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	Mild Steel	0.20	0.20	0.30	0.50	1.60	1.00
2	Carbon-Molybdenum	0.15	0.50	0.40-0.65	0.50	1.60	1.00
3	Chrome (0.4% to 2%)-Molybdenum	0.15	0.40-2.00	0.40-0.65	0.50	1.60	1.00
4	Chrome (2% to 4%)-Molybdenum	0.15	2.00-4.00	0.40-1.50	0.50	1.60	2.00
5	Chrome (4% to 10.5%)-Molybdenum	0.15	4.00-10.50	0.40-1.50	0.80	1.20	2.00
6	Chrome-Martensitic	0.15	11.00-15.00	0.70	0.80	2.00	1.00
7	Chrome-Ferritic	0.15	11.00-30.00	1.00	0.80	1.00	3.00
8	Chromium-Nickel	0.15	14.50-30.00	4.00	7.50-15.00	2.50	1.00
9	Chromium-Nickel	0.30	19.00-30.00	6.00	15.00-37.00	2.50	1.00
10	Nickel to 4%	0.15	0.50	0.55	0.80-4.00	1.70	1.00
11	Manganese-Molybdenum	0.17	0.50	0.25-0.75	0.85	1.25-2.25	1.00
12	Nickel-Chrome-Molybdenum	0.15	1.50	0.25-0.80	1.25-2.80	0.75-2.25	1.00

NOTES:
 (1) Single values shown above are maximum.
 (2) Only listed elements are used to determine A-numbers.

Fuente: ASME 2013 Sección IX Tabla QW-442

5.10.3 Diámetro del Electrodo.

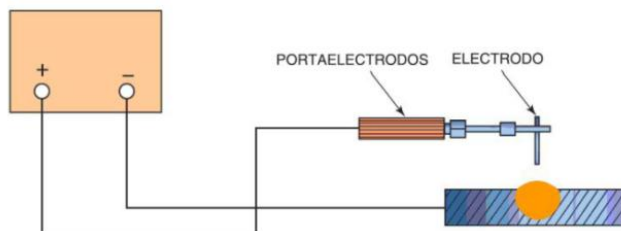
Considerando el diseño de la junta tenemos una apertura de raíz de 1/8" (3,175mm min), para tal caso se selecciona un electrodo de 1/8" para cubrir la apertura de raíz mínima. Así para los siguientes pases se tiene un ángulo de la cara del bisel que nos permite el uso de un electrodo de diámetro mayor, como se describe en el numeral 5.7 Junta, el cual puede ser desde 1/8" hasta 3/8" para nuestro caso particular.

5.11 Variables del proceso SMAW

- **Amperaje:** Es la intensidad que pasa a través de un circuito eléctrico.
- **Voltaje:** Es la presión de la corriente a través de un circuito eléctrico.
- **Longitud de arco:** Es la distancia entre la punta derretida del núcleo del electrodo y la superficie del charco de la soldadura.

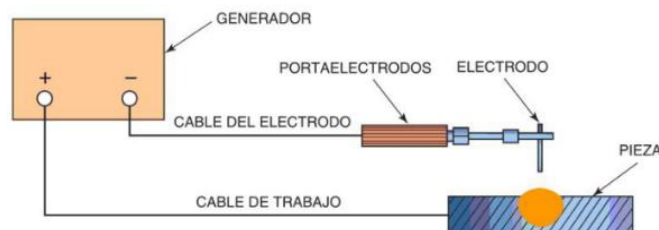
- **Velocidad de recorrido:** Es la rapidez con la que el electrodo se desplaza a lo largo de la unión, son varios los factores que determinan cual debe ser la velocidad correcta.
- **Variables en la velocidad de recorrido:** Tipo de corriente, amperaje y polaridad, posición de soldadura, rapidez de fusión del electrodo, espesor del material, tipo de unión, manipulación del electrodo.
- **Técnica de soldadura:** Es la orientación del electrodo con respecto al trabajo. Importante para una buena calidad de soldadura.
- **Corriente alterna:** Es aquella que circula en un circuito eléctrico variando de polo alternativamente, la variación puede ser con una frecuencia de 50 o 60 ciclos por segundo.
- **Corriente continua:** Es aquella corriente rectificada que circula en un solo sentido o negativo o positivo (electrones).
- **Corriente continua:** Rectificador del diodo de potencia de silicio
- **Polaridades:**
 - **Polaridad invertida (DC – EP)** Corriente continua de electrodo positivo, éste es positivo, y el trabajo es negativo, la corriente DCEP produce las mejores características de arco de soldadura.
 - **Polaridad negativa o normal (DC – EN)** Corriente continua de electrodo negativo, éste es negativo, y el trabajo es positivo. La corriente de soldadura DCEN produce una velocidad alta de fusión del electrodo.

Imagen 13. Electrodo Positivo (DCEP), polaridad inversa (DCRP)



Fuente. LARRY JEFFUS. Soldadura Principios y Aplicaciones. Ediciones Paraninfo, S.A, 2009.

Imagen 14. Electrodo Negativo (DCEN), polaridad Directa (DCSP)



Fuente. LARRY JEFFUS. Soldadura Principios y Aplicaciones. Ediciones Paraninfo, S.A, 2009.

- **Llama:** Es la zona que envuelve al plasma y presenta menor temperatura que éste, formada por átomos que se disocian y recombinan desprendiendo calor por la combustión del revestimiento del electrodo. Otorga al arco eléctrico su forma cónica.
- **Baño de fusión:** La acción calorífica del arco provoca la fusión del material, donde parte de éste se mezcla con el material de aportación del electrodo, provocando la soldadura de las piezas una vez solidificado.
- **Cráter:** Surco producido por el calentamiento del metal. Su forma y profundidad vendrán dadas por el poder de penetración del electrodo.

- **Cordón de soldadura:** Está constituido por el metal base y el material de aportación del electrodo y se pueden diferenciar dos partes: la escoria, compuesta por impurezas que son segregadas durante la solidificación y que posteriormente son eliminadas, y sobre el espesor, formado por la parte útil del material de aportación y parte del metal base, la soldadura en sí.

5.12 Electrodo

Son varillas metálicas preparadas para servir como polo del circuito; en su extremo se genera el arco eléctrico. En algunos casos, sirven también como material fundente. La varilla metálica a menudo va recubierta por una combinación de materiales que varían de un electrodo a otro. El recubrimiento en los electrodos tiene diversas funciones, éstas pueden resumirse en las siguientes **Tabla 28**. Características Eléctricas.

Tabla 28. Características Eléctricas.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)								
PASES DE SOLDADURA	PROCESO	METAL APORTE		TIPO DE CORRIENTE Y POLARIDAD	AMPERAJE	VOLTAJE (RANGO)	VELOCIDAD DE AVANCE (cm/min)	ENTRADA DE CALOR (kj/mm)
		CLASIFICACIÓN	DIÁMETRO					
1	SMAW	E7018	1/8"	DC+	70 - 90	25 - 30	7 - 11	1 - 2
2	SMAW	E7018	1/8"	DC+	70 - 90	25 - 30	7 - 11	1,5 - 3
RELLENO	SMAW	E7018	1/8"-3/8"	DC+	100 - 130	25 - 30	7 - 11	1,5 - 3
PRESENTACIÓN	SMAW	E7018	1/8"-3/8"	DC+	100 - 130	25 - 30	7 - 11	1,5 - 3

Fuente: Autor

Según la especificación AWS 5.1, como se ve en la **Tabla 29** Clasificación de Electrodos AWS 5.1, nos muestra al electrodo 7018 cuya composición del recubrimiento es con bajo hidrógeno Potásico y Polvo de Hierro. La posición recomendada para soldar con este electrodo es F=Plano,

V=Vertical, OH=Sobre cabeza, H=Filetes y la corriente a emplear para este electrodo es ac=Corriente Alterna o dcep=Corriente Directa Electrodo Positivo.

Se prefiere trabajar con corriente continua debido a la mayor suavidad en la operación y las menores pérdidas de salpicaduras y altas tasas de deposición por el polvo de hierro, con lo cual se obtiene un mejor rendimiento y mayor comodidad para su aplicación.

Tabla 29. Clasificación de Electrodo AWS 5.1.

AWS Classification	Type of Covering	Welding Position ^a	Type of Current ^b
E6010	High cellulose sodium	F,V,OH,H	dcep
E6011	High cellulose potassium	F,V,OH,H	ac or dcep
E6012	High titania sodium	F,V,OH,H	ac or dcen
E6013	High titania potassium	F,V,OH,H	ac, dcep or dcen
E6019	Iron oxide titania potassium	F,V,OH,H,	ac, dcep or dcen
E6020	High iron oxide	{ H-fillets F	ac or dcen ac, dcep or dcen
E6022 ^c	High iron oxide	F,H	ac or dcen
E6027	High iron oxide, iron powder	{ H-fillets F	ac or dcen ac, dcep or dcen
E7014	Iron powder, titania	F,V,OH,H	ac, dcep or dcen
E7015 ^d	Low hydrogen sodium	F,V,OH,H	dcep
E7016 ^d	Low hydrogen potassium	F,V,OH,H	ac or dcep
E7018 ^d	Low hydrogen potassium, iron powder	F,V,OH,H	ac or dcep
E7018M	Low hydrogen iron powder	F,V,OH,H	dcep
E7024 ^d	Iron powder, titania	H-fillets,F	ac, dcep or dcen
E7027	High iron oxide, iron powder	{ H-fillets F	ac or dcen ac, dcep or dcen
E7028 ^d	Low hydrogen potassium, iron powder	H-fillets,F	ac or dcep
E7048 ^d	Low hydrogen potassium, iron powder	F,OH,H,V-down	ac or dcep

Notes:

a. The abbreviations indicate the welding positions as follows:

F = Flat

H = Horizontal

H-fillets = Horizontal fillets

V-down = Vertical with downward progression

V = Vertical

OH = Overhead

{ For electrodes 3/16 in. (4.8mm) and under, except 5/32 in. (4.0mm)

and under for classifications E7014, E7015, E7016, E7018, and E7018M.

b. The term "dcep" refers to direct current electrode positive (dc, reverse polarity). The term "dcen" refers to direct current electrode negative (dc, straight polarity).

c. Electrodes of the E6022 classification are intended for single-pass welds only.

d. Electrodes with supplemental elongation, notch toughness, absorbed moisture, and diffusible hydrogen requirements may be further identified as shown in Tables 2, 3, 10, and 11.

Fuente: Table 1 AWS 5.1 Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

Tabla 30. Clasificación de Electrodo AWS 5.1.

Classification	Current	Arc	Penetration	Covering & Slag	Iron Powder
EXX10	DCEP	Digging	Deep	Cellulose - Sodium	0 - 10%
EXXX1	AC or DECP	Digging	Deep	Cellulose - Potassium	0
EXXX2	AC or DCEN	Medium	Medium	Titania - Sodium	0 - 10%
EXXX3	AC or DCEN or DECP	Soft	Light	Titania - Potassium	0 - 10%
EXXX4	AC or DCEN or DECP	Soft	Light	Titania - Iron Powder	25 - 40%
EXXX5	DECP	Medium	Medium	Low Hyd. - Sodium	0
EXXX6	AC or DCEP	Medium	Medium	Low Hyd. - Potassium	0
EXXX8	AC or DCEP	Medium	Medium	Low Hyd. - Iron Powder	25 - 40%
EXX20	AC or DCEN	Medium	Medium	Iron Oxide - Sodium	0
EXX22	AC or DCEN or DECP	Medium	Medium	Iron Oxide - Sodium	0
EXX24	AC or DCEN or DECP	Soft	Light	Titania - Iron Powder	50%
EXX27	AC or DCEN or DECP	Medium	Medium	Iron Oxide - Iron Powder	50%
EXX28	AC or DCEP	Medium	Medium	Low Hyd. - Iron Powder	50%
EXX48	AC or DCEP	Medium	Medium	Low Hyd. - Iron Powder	25 - 40%

DCEP - Direct Current Electrode Positive

DCEN - Direct Current Electrode Negative

NOTE: Iron powder percentage based on weight of the covering.

Fuente: Especialización U. Libre

5.13 Técnica

Tabla 31. Características Eléctricas.

TÉCNICA (QW-410)	
CORDÓN:	RECTO
LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASES:	
Disco abrasivo pase de raíz, grata eléctrica entre pases y cuando se requiera disco abrasivo	
PASE:	MÚLTIPLE

Fuente: Autor.

5.14 Tablas de resumen general

5.14.1 Variables de soldadura para especificaciones de procedimiento WPS proceso de soldadura SMAW.

Tabla 32. Variables del Proceso de Soldadura SMAW.

TABLA QW-253 VARIABLES DE SOLDADURA PARA ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO (WPS) PROCESO SHIELDED METAL-ARC WELDING (SMAW)				
Párrafo	Resumen de Variables	Esenciales	Esenciales Suplementarias	No Esenciales
QW-402 Juntas	0,1 Ø Diseño de ranura			X
	0,4 Respaldo			X
	0,10 Ø Espaciamiento de raíz			X
	0,11 ± Retenedores			X
QW-403 Metales Base	0,5 Ø Número de Grupo		X	
	0,6 T Límites de Impacto		X	
	0,8 Ø T Calificado	X		
	0,9 Paso t > ½ in (13mm)	X		
	0,11 Ø No. P calificado	X		
QW-404 Metales de Aporte	0,4 Ø Número F	X		
	0,5 Ø Número A	X		
	0,6 Ø Diámetro			X
	0,7 Ø Diámetro > ¼ in. (6mm)		X	
	0,12 Ø Clasificación		X	
	0,30 Ø t	X		
QW-405 Posiciones	0,33 Ø Clasificación			X
	0,1 + Posición			X
	0,2 Ø Posición		X	
	0,3 Ø ↑ Soldadura vertical			X
QW-406 Pre calentamiento	0,1 Disminución > 100° F (55°C)	X		
	0,2 Ø Mant. precalent.			X
	0,3 Aumento > 100° F (55°C) IP		X	
QW-407 PWHT	0,1 Ø PWHT	X		
	0,2 Ø PWHT (Rango T&T)		X	
	0,4 T Límites	X		
QW-409 Características Eléctricas	0,1 > Gasto de calor		X	
	0,4 Ø Corriente o polaridad		X	X
	0,8 Ø Rango I y E			X
QW-410 Técnica	0,1 Ø Cordón/vaivén			X
	0,5 Ø Método de limpieza			X
	0,6 Ø Método de cincelado posterior			X
	0,9 Ø Pase sencillo o múltiple		X	X
	0,25 Ø Manual o Automático			X
	0,26 ± Granallado			X
	0,64 Use para procesos térmicos	X		
Adición	> Aumento/mayor que	Hacia arriba↑	← Directo	Ø Cambio
Eliminación	< Disminución/menos	Hacia abajo↓	→ Inverso	

Fuente: ASME BPVC IX,2013

5.14.2 Resumen del diseño del plan de soldadura.

Tabla 33. Variables del Proceso de Soldadura SMAW.

VARIABLES TERMICAS													
5.1.1	5.1.3	5.1.4	5.1.4	5.2		5.3	5.4	5.5	5.6	5.7		5.8	
				5.2.1	5.2.2								
QW-403	QW-403	QW-403		QW-403		QW-406			QW-407	QW-402		QW-405	
Material 1	Material 2	# P 1	# P2	Espesor A-36	Espesor A106	T° de Pre-Calentamiento	T° entre Pases	Enfriamiento soldadura	PWHT	Junta	Respaldo	Posición	
SA-106	A-36	1	1	1/2" (12mm)	≥3/16 (4,76mm) ≈3/8"	70°C - 100°C	70°C - 100°C	25°C - 35°C	N/A	Ranura con Bisel Sencillo	ASTM A283GrB	5G Ascendente	5F

VARIABLES DEL PROCESO													
5.9	5.10			5.10.3			5.12			5.12			5.13
	5.10.1	5.10.2	5.10.3				5.12.1			5.12.1			QW-410
	QW-404			QW-404 .6/.7			QW-409						PQR
	MATERIAL APOORTE			DIÁMETROS MA			TIPO DE CORRIENTE			AMPERAJE			TÉCNICA
PROCESO	QW-432	QW-442	ELECTRODO	Raiz	Relleno	Presentación	Raiz	Relleno	Presentación	Raiz	Relleno	Presentación	Cordon: Recto Limpieza: Disco Abrasivo, Grata Electrica Pase :Multiple
	# F	# A											
SMAW	4	1	SFA 5.1 E7018	1/8" (3,175mm)	1/8" -3/8" (3,17-9,5mm)	1/8" -3/8" (3,17-9,5mm)	DC+	DC+	DC+	70-90	70-90	100-130	PQR-SMAW-ECP-VIT-044 Ver.1
													WPS-SMAW-ECP-VIT-044 Ver. 1

Fuente: Autor

6. Calificación del procedimiento

La lámina de refuerzo de la conexión en acero A36 notiene certificados, por API653 Numeral 4.3.3 se toma como valor de referencia 55Ksi para un material sin identificación. Se valida este requisito mediante equivalencia entre resistencia a la tensión y dureza, de acuerdo a ASTM A370. Según medición hecha al material base, informe Inspec Ingeniería DI0216-1F Reg.007, la dureza HV10 promedio es 175 que equivale a 86ksi.El material queda clasificado como número P Grupo 1 para la calificación.

TUBERÍA ASTM A106 Grado B. Muestra M24 (Colada 43211) Reporte N°005-
Caracterización Tubería y Accesorios 11/08/2015 Anexos

6.1 Calificación para Soldadura de Ranura

El procedimiento se calificó para una junta de ranura de penetración parcial y una junta a filete de acuerdo al numeral QW-202 Soldaduras de ranura y filete.

Las soldaduras de ranura de penetración parcial deben calificarse de acuerdo con los requisitos de QW-451 tanto para el metal base como para el espesor de metal de soldadura depositado, no debe haber límite superior en el espesor del metal base, siempre y cuando la calificación se haya hecho en metal base con un espesor de 38 mm (1 1/2 pulg.) o más. En el caso del procedimiento calificado el metal base A-36 tiene un espesor de 1/2" y el otro material base A106 Gr B 9,5mm de espesor.

Como se puede apreciar en la **Tabla 34** y con los espesores de material trabajados para realizar la unión soldada, se obtiene un espesor máximo a calificar de 2 veces el espesor del metal base y

se determina que para tal caso se deben realizar 2 probetas para los ensayos de tensión, doblez de raíz, doblez de cara.

Hay una nota 5 en el ensayo para doblez de lado el cual dice: Cuatro ensayos de doblez de lado pueden sustituir a las pruebas de doblez de la cara y de la raíz requeridas, cuando el espesor T es de 10 mm (3/8 pulgadas) o más.

La realización de estas pruebas o su equivalencia para el doblez de lado no fueron realizadas según la recomendación de ASME para la junta a ranura penetración parcial, razón por la cual se determina si hacer ensayos para la junta a filete las cuales calificarán la sanidad total de la junta como se explicará en los ensayos aplicables para la junta a filete mediante especímenes de un corte transversal de todo el ensamble soldado (Ver calificación para soldadura a filete a continuación).

6.2 Calificación para Soldadura de Filete

La calificación del procedimiento de soldadura deberá cumplir con los requisitos de la **Imagen 15** imágenes del código ASME QW-462 a ó QW-462d. El cupón de prueba para tubería a placa o tubería a tubería se cortará transversalmente para proporcionar 4 secciones de probeta aproximadamente iguales según **Tabla 35** Ensayos de soldadura a filete.

Estos especímenes de ensayo se someterán a macro examen cumpliendo con los requisitos de QW-183 MACRO - EXAMINATION — PROCEDURE SPECIMENS

Tabla 34. QW-451 Límites De Espesor Y Métodos De Prueba De
Calificación Del Procedimiento

Table QW-451.1 Groove-Weld Tension Tests and Transverse-Bend Tests							
Thickness T of Test Coupon, Welded, in. (mm)	Range of Thickness T of Base Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]		Maximum Thickness t of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]	Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)]			
	Min.	Max.		Tension, QW-150	Side Bend, QW-160	Face Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
Less than $\frac{1}{16}$ (1.5)	T	$2T$	$2t$	2	...	2	2
$\frac{1}{16}$ to $\frac{3}{8}$ (1.5 to 10), incl.	$\frac{1}{16}$ (1.5)	$2T$	$2t$	2	[Note (5)]	2	2
Over $\frac{3}{8}$ (10), but less than $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$	2	[Note (5)]	2	2
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2T$ when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	8 (200) [Note (3)] when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
Over 6 (150) [Note (6)]	$\frac{3}{16}$ (5)	$1.33T$	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
Over 6 (150) [Note (6)]	$\frac{3}{16}$ (5)	$1.33T$	$1.33T$ when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...

NOTES:

(1) The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, QW-404.32, and QW-407.4. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.

(2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.

(3) For the SMAW, SAW, GMAW, PAW, and GTAW welding processes only; otherwise per Note (1) or $2T$, or $2t$, whichever is applicable.

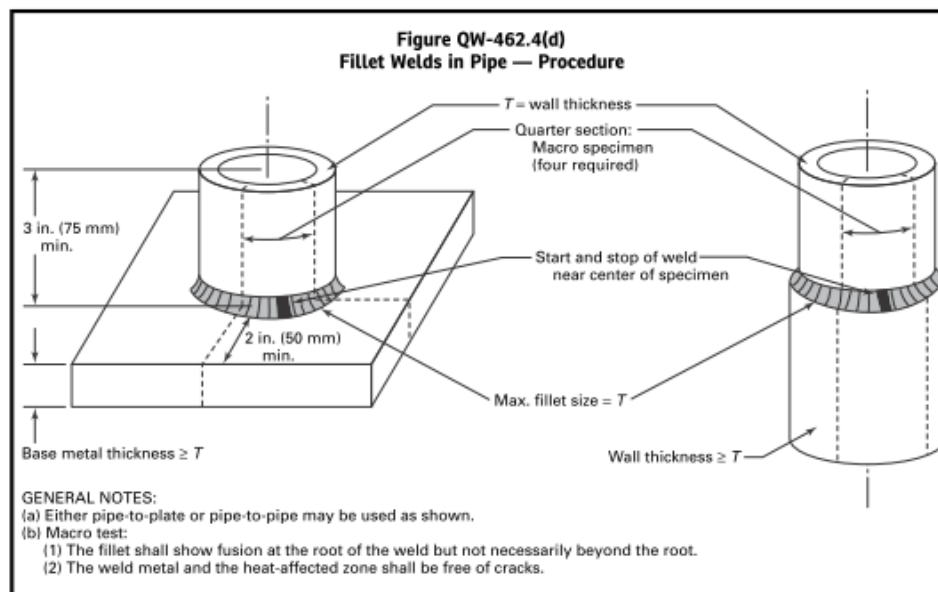
(4) see QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm).

(5) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness T is $\frac{3}{8}$ in. (10 mm) and over.

(6) For test coupons over 6 in. (150 mm) thick, the full thickness of the test coupon shall be welded.

Fuente: ASME 2013 SECTION IX

Imagen 15. Procedimiento de Soldadura a filete en Tubería.



Fuente: ASME 2013 SECTION IX

Tabla 35. QW-451.3 Ensayos de soldadura a filete

Table QW-451.3 Fillet-Weld Tests			
Type of Joint	Thickness of Test Coupons as Welded, in.	Range Qualified	Type and Number of Tests Required [QW-462.4(a) or QW-462.4(d)] Macro
Fillet	Per QW-462.4(a)	All fillet sizes on all base metal thicknesses and all diameters	5
Fillet	Per QW-462.4(d)		4

GENERAL NOTE: A production assembly mockup may be substituted in accordance with QW-181.1.1. When a production assembly mockup is used, the range qualified shall be limited to the fillet weld size, base metal thickness, and configuration of the mockup. Alternatively, multiple production assembly mockups may be qualified. The range of thickness of the base metal qualified shall be no less than the thickness of the thinner member tested and no greater than the thickness of the thicker member tested. The range for fillet weld sizes qualified shall be limited to no less than the smallest fillet weld tested and no greater than the largest fillet weld tested. The configuration of production assemblies shall be the same as that used in the production assembly mockup.

Fuente: ASME 2013 SECTION IX

6.2.1 Ensayo De Macro-Ataque.

Como se pudo concluir en los numerales anteriores mediante el ensayo por macro ataque se garantiza que las soldaduras de filete tienen fusión hasta la raíz de la unión, pero no más allá, y fusión completa entre capas de metal de aporte y metal de aporte y metal base.

Imagen 16 . Probetas para Macro-ataque



Fuente: Autor.

Imagen 17. Probetas



Fuente: Autor.

6.2.2 Los criterios de aceptación para este ensayo son.

El examen visual de la sección transversal del metal de soldadura y de la zona afectada por el calor deberá mostrar fusión completa y liberación de grietas, salvo que las indicaciones lineales en la raíz no exceda de 0,32 mm (0,32 mm) será aceptable.

La soldadura no deberá tener una concavidad o convexidad mayor de 1,5 mm (1/16").

No deberá haber más de 1/8" (3 mm) de diferencia en las longitudes de las piernas del filete.

6.3 Resultados

Tabla 36. ENSAYO DE MACROATAQUE.

ENSAYO DE MACROATAQUE				
PROBETA	OBSERVACIONES			
M1 263	Evidencia una discontinuidad de 1,68 mm en su dimensión más grande en la interfase de la soldadura(falta de fusión)			
M2 263	Sin discontinuidades			
M2 263	Sin discontinuidades			
M4 263	Sin discontinuidades			
M11 315	Probeta correspondiente a muestreo M1 263. Evidencia una discontinuidad de 0,42mm en su dimensión más grande (No es grieta ni falta de fusión).			
M12 315	Probeta correspondiente a muestreo M1 263. Evidencia dos discontinuidades 1,31mm y 0,82mm en su dimensión más grande (No es grieta ni falta de fusión).			
Laboratorio:	West Arco	Informe:	I-15263-7 01/10/2015	I-15315-1 19/11/2015
Resultado: PASA . La probeta M1 263 mp pasa para lo cual se hace remuestreo de dos probetas adicionales que cumplen criterios de QW-183 junto con las probetas iniciales. El filete es de tamaño uniforme.				

Fuente: Autor

6.4 Ensayos adicionales

Ensayo de micro dureza HV (Hardness Vickers) tomado a la probeta M11 322, cuyo objeto es inspeccionar el metal base, la zona afectada térmicamente y material de aporte. Ver reporte en el Anexo 2 Ensayos.

Equipo: COMPUTEST SC

Criterio de aceptación: Valores de dureza HV menores a 275.

Metal Base: Se tomaron 8 puntos de referencia y 4 lecturas de dureza por cada punto.

Zona Afectada Térmicamente: Se tomaron 23 puntos de referencia y 4 lecturas de dureza por cada punto.

Metal de Aporte: Se tomaron 14 puntos de referencia y 4 lecturas de dureza por cada punto.

La toma de mediciones descrita anteriormente da como resultado del ensayo de dureza valores promedio e individuales menores a 275 HV. En la **Tabla 37** se puede apreciar los resultados del ensayo.

Tabla 37. PQR-SMAW-ECP-VIT-044 ENSAYO DE DUREZA.

ENSAYO DE DUREZA			
ZONA MEDICIÓN	DUREZA ESALA	DUREZA	OBSERVACIONES
M11 322 Metal Base	HV10	176	Valor Promedio
M11 322 HAZ Platina	HV10	173 -190	Ninguno
M11 322 HAZ Tubería	HV10	184	Valor Promedio
M11 322 W Ranura	HV10	173 - 178	La cara del filete presenta un dato de 184
M11 322 W Filete	HV10	181 - 206	175 en la mitad del filete contra la platina
Laboratorio:	INSPEQ INGENIERIA BTA		Informe: DI0216-1F Reg.007 23/11/2015
Resultado: Pasa, los valores promedios e individuales son menores a 275 HV			

Fuente: Autor

7 Especificación para el procedimiento de soldadura – WPS

Tabla 38. WPS-SMAW-ECP-VIT-044.

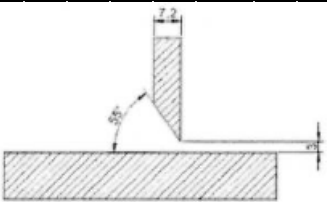
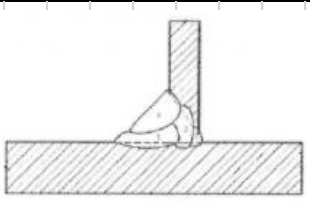
		ESPECIFICACIÓN PARA EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA - WPS			
		VICEPRESIDENCIA DE TRANSPORTE Y LOGISTICA - GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS			
		CÓDIGO: VIT-GTA-P-399		ELABORADO: 26-06-2015	
				VERSIÓN: 0	
Proyecto/Área: Meta Apiay		Descripción Aplicación: Calificación para unión de niple a tanque API 650 en operación			
N° WPS: WPS-SMAW-ECP-VIT-044		Fecha:		N°PQR: PQR-SMAW-ECP-VIT-044 Ver.1	
Revisión N°: 1		Fecha:		Código de Diseño:	
PROCESO DE SOLDADURA: SMAW		Tipo:		Manual: <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomático: <input type="checkbox"/>	
				Mecanizado: <input type="checkbox"/> Automático: <input type="checkbox"/>	
JUNTAS (QW-402)					
Diseño de Junta: Junta a Tope		Espaciamento de raíz: Mínimo 1/8" hasta 3/8"			
Respaldo: Sí: <input checked="" type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>		Metal: <input checked="" type="checkbox"/>		No Metálico: <input type="checkbox"/>	
Tipo de Material de Respaldo (Tipo): ASTM A283		Metal no Fusible: <input type="checkbox"/>			
METAL BASE (QW-403)					
Número P: 1		Número Grupo: 1		Número P: 1	
				Número Grupo: 1	
Especificación y tipo / Grado o número UNS:		ASTM A36			
Especificación y tipo / Grado o número UNS:		ASTM A106 GRB			
Rango de espesor: Platina 1/2"					
Metal Base: Ranura: <input checked="" type="checkbox"/>		Filete: <input checked="" type="checkbox"/>			
METAL DE APORTE (QW-404)					
Especificación (SFA)		1		2	
Clasificación AWS		SFA 5.1			
Número F		E7018			
Número A		4			
Diámetro Electrodo		1			
Forma del Producto		1/8"-3/8"			
Metal de Aporte Suplementario		Barra Recubierta			
Metal de Soldadura		N/A			
Rango de Espesor		N/A			
Ranura		1/2"			
Filete		1/2"			
Clasif. Electrodo Fundente					
Tipo de Fundente					
Inserto Consumible					
Otro					
				Protección:	
				Atrás del Electrodo:	
				Respaldo:	
				Otro:	
POSICIONES (405)					
Posición de Ranura:		5G			
Progresión de Soldadura:					
Ascendente:		<input checked="" type="checkbox"/>		Descendente: <input type="checkbox"/>	
Posición de Filete:		5F			
Otros		No			
PRECALENTAMIENTO (QW-406)					
Temperatura de Precalentamiento:					
Mínima:		70°C		Máxima: 100°C	
Temperatura entre Pases:					
Mínima:		70°C		Máxima: 100°C	
Otros:					
GAS (QW-408)					
GAS		MEZCLA		FLUJO	
--		--		--	
--		--		--	
--		--		--	
--		--		--	
Detalles de Montaje y Junta:					
<p>T1 (Tubería)=0.28"=8.3mm T2=T3=1/2" (12mm Aprox.) T2=Lámina Refuerzo T3=Lámina Tk 1" Anillo 9=35° AR=1/8"-3/8" (3.1mm-9.5mm)</p>					

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)									
Pases de Soldadura	Proceso	Metal Aporte		Corriente y Polaridad	Amperaje	Voltaje	Vel Avance cm/min	Entrada Calor (Kj/mm	Stick Out,cm
		Clasific.	Diámetro						
1	SMAW	E7018	1/8"	DC (EP)	70-90	25-30	7-11	-	-
2	SMAW	E7018	1/8"	DC (EP)	70-90	25-30	7-11	-	-
Relleno	SMAW	E7018	3/8"	DC (EP)	100-130	25-30	7-11	-	-
Presentación	SMAW	E7018	3/8"	DC (EP)	100-130	25-30	7-11	-	-

TÉCNICA (QW-410)									
Cordón Recto u Oscilado:		RECTO			Limpieza Inicial y entre Pases:		Disco Abrasivo		
Pase Múltiple o Sencillo por lado:		Multiple			en el pase de raíz, grata eléctrica entre pases y cuando se requiera disco abrasivo.				
OBSERVACIONES:									
1.Especificación generada para la calificación no es valida para realizar trabajos sin el respectivo WPQ, con base en el cual se realizarán ajustes a los parámetros de soldadura.									
2.Calificar con tubería ASTM A106 de 8" Sch Std y latina ASTM A36 de 1/2".									
4.Tomar Probetas de acuerdo con ASME secc IX para calificación de soldadura de filete (QW-181.1).Evidenciando penetración completa a través de T1.									

Fuente: Autor

Tabla 39. PQR-SMAW-ECP-VIT-044.

PROCEDIMIENTO DEL REGISTRO DE CALIFICACIÓN - PQR									
VICEPRESIDENCIA DE TRANSPORTE Y LOGÍSTICA - GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS									
CÓDIGO: VIT-GTA-P-399				ELABORADO: 28/11/2015			VERSIÓN: 0		
Empresa del Soldador:	Ismocol			Nombre Soldador:	Jhon Dario Torres				
Nombre del Proyecto:	Ampliación 330k			Cédula de Ciudadanía:	No Registrado				
Fecha de Calificación:	09/03/2015			Estampe:	JDT				
Proceso de Soldadura:	SMAW			Equipo de Soldadura:	No Registrado				
WPS N°:	WPS-SMAW-ECP-VIT-044 Ver.B			Posición Calificación:	5F				
PQR / WPQ N°:	PQR-SMAW-ECP-VIT-044 Vers.1			Estándar / Código de Soldadura:	ASME SECTION IX-2013				
Material Base Probeta:									
<p>PLATINA A36 No se tiene certificado, por API653 Numeral 4.3.3 se toma como valor de referencia 55ksi para un material sin identificación. Se valida este requisito mediante equivalencia entre resistencia a la tensión y dureza, de acuerdo a ASTM A370. Según medición hecha al material base, informal Inspec Ingeniería DI0216-1F Reg.007, la dureza HV10 promedio es 175 que equivale a 86ksi. El material queda clasificado como P1 Grupo 1 para la calificación.</p> <p>TUBERÍA ASTM A106 Grado B. Muestra M24 (Colada 43211) Reporte N°005- Caracterización Tubería y Accesorios 11/08/2015 Anexos</p>									
Diámetro Probeta:	8" TUBERÍA			Espesor de Probeta:	0,28 (7,2mm) Tubería y 1/2" (12,6 mm) Platina				
Material Aporte:	WAS A5.1 E7018 (2,4mm y 3,2mm) No se tienen registros de lotes.								
Características Eléctricas:	DC EP			Inspector:	No Registra				
Diseño de la Junta:	Junta en Tee, Soldadura de ranura y filete			Progresión:	Ascendente	Gas:	-	Rata Flujo:	40CFH
Diámetro Boquilla:	N/A			Diámetro Tugsteno:	N/A	Grapa:	Apuntado		
Precalentamiento:	70°C		Temperatura Probeta Inicio:	No registra Villao	Ciudad:	Villavicencio 20°C-35°C			
Tiempo Entre Pases:	10 minutos terminado el primer pase								
Otros:	Se tomará como criterio de cumplimiento de ASME secc IX QW-183 y microdureza menor a 275.								
DISEÑO DE LA JUNTA, (Medidas en Milímetros (mm))					SECUENCIA DE PASES				
									
TABLA DE RANGOS EECTRICOS									
SEC. Pases	METAL APORTE		Corriente Polaridad	Progresión	Amperaje	Voltaje	Velocidad Avance cm/min	IN Q (kj/mm)	Limpieza
	CLASE	Ø							
Raíz-A-1	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	82	24,8	3,79	3,22	Disco Abrasivo
Raíz-A-2	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	82	24,8	3,79	3,22	Disco Abrasivo
Raíz-A-3	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	82	24,8	3,79	3,22	Disco Abrasivo
Raíz-A-4	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	91	24,8	3,79	3,57	Disco Abrasivo
Raíz-A-5	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	91	24,8	3,79	3,57	Disco Abrasivo
Raíz-A-6	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	91	24,8	3,79	3,57	Disco Abrasivo
Raíz-A-7	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,8	3,79	3,42	Disco Abrasivo
Raíz-A-8	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,8	3,79	3,42	Disco Abrasivo
Raíz-A-9	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,8	3,79	3,42	Disco Abrasivo
Raíz-A-10	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,8	3,79	3,42	Disco Abrasivo
Raíz-A-11	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,8	3,79	3,42	Disco Abrasivo
Raíz-A-12	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,8	3,79	3,42	Disco Abrasivo
Raíz-A-13	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84	24,8	3,79	3,3	Disco Abrasivo
Raíz-B-1	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-2	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-3	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-4	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-5	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-6	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-7	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-8	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-9	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	92	24,2	2,82	4,74	Disco Abrasivo

Raiz-B-10	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	92	24,2	2,82	4,74	Disco Abrasivo
Raiz-B-11	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raiz-B-12	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raiz-B-13	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raiz-B-14	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raiz-B-15	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87,5	24,2	2,82	4,51	Disco Abrasivo
Raiz-B-16	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87,5	24,2	2,82	4,51	Disco Abrasivo
Raiz-B-17	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87,5	24,2	2,82	4,51	Disco Abrasivo
Relleno 1-A-1	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-2	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-3	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-4	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-5	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-6	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-7	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-8	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-1	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-2	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-3	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-4	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-5	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-6	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-7	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-8	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-A-1	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	111	29	8,7	2,22	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-A-2	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	111	29	8,7	2,22	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-A-3	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	111	29	8,7	2,22	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-A-4	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	111	29	8,7	2,22	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-B-1	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	111	29	8,55	2,26	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-B-2	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	111	29	8,55	2,26	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-B-3	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	128	29	8,55	2,61	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-B-4	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	128	29	8,55	2,61	Disc Abr.-Grata Ele
Present 1-A-1	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	7,56	2,6	Grata Electrica
Present 1-A-2	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	7,56	2,6	Grata Electrica
Present 1-A-3	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	7,56	2,6	Grata Electrica
Present 1-A-4	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	7,56	2,6	Grata Electrica
Present 1-B-1	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	6,97	2,83	Grata Electrica
Present 1-B-2	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	6,97	2,83	Grata Electrica
Present 1-B-3	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	6,97	2,83	Grata Electrica
Present 1-B-4	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	6,97	2,83	Grata Electrica
Present 1-B-5	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122,6	26,9	6,97	2,84	Grata Electrica
Codificación de Pases "Pase - Lado - Cordón".									
INSPECCIÓN VISUAL									
Apariencia:	Uniforme				Grietas:		No Presenta		
Socavado:	No Presenta				Falta de Penetración:		No Presenta		
Falta de Fusión:	No Presenta				Otros:		N/A		
Resultado de inspección Visual:					Satisfactorio , Aceptado				
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS									
Resultado de Inspección Radiográfica:					-----				
Laboratorio:	N/A				Informe:		N/A		

Codificación de Pases "Pase - Lado - Cordon".							
INSPECCIÓN VISUAL							
Apariencia:	Uniforme			Grietas:	No Presenta		
Socavado:	No Presenta			Falta de Penetración:	No Presenta		
Falta de Fusión:	No Presenta			Otros:	N/A		
Resultado de inspección Visual:				Satisfactorio , Aceptado			
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS							
Resultado de Inspección Radiográfica:				-----			
Laboratorio:	N/A			Informe:	N/A		
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY							
PROBETA N°	LONGITUD mm	ANCHO mm	ESPESOR mm^2	TEMPERATURA °C	UBICACIÓN ENTALLA	ENERGIA J	OBSERVACIÓN
N/A							
N/A							
N/A							
Laboratorio:		N/A			Informe:		N/A
ENSAYO DE DUREZA							
ZONA MEDICIÓN	DUREZA ESALA	DUREZA	OBSERVACIONES				
M11 322 Metal Base	HV10	176	Valor Promedio				
M11 322 HAZ Platina	HV10	173 -190	Ninguno				
M11 322 HAZ Tubería	HV10	184	Valor Promedio				
M11 322 W Ranura	HV10	173 - 178	La cara del filete presenta un dato de 184				
M11 322 W Filete	HV10	181 - 206	175 en la mitad del filete contra la platina				
Laboratorio:		INSPEQ INGENIERIA BTA			Informe:		DI0216-1F Reg.007 23/11/2015
Resultado: Pasa, los valores promedios e individuales son menores a 275 HV							
ENSAYO DE MACROATAQUE							
PROBETA	OBSERVACIONES						
M1 263	Evidencia una discontinuidad de 1,68 mm en su dimensión más grande en la interfase de la soldadura(falta de fusión)						
M2 263	Sin discontnuidades						
M2 263	Sin discontnuidades						
M4 263	Sin discontnuidades						
M11 315	Probeta correspondiente a muestreo M1 263. Evidencia una discontnuidad de 0,42mm en su dimensión más grande (No es grieta ni falta de fusión).						
M12 315	Probeta correspondiente a muestreo M1 263. Evidencia dos discontnuidades 1,31mm y 0,82mm en su dimensión más grande (No es grieta ni falta de fusión).						
Laboratorio:		West Arco			Informe:		I-15263-7 01/10/2015 I-15315-1 19/11/2015
Resultado: PASA . La probeta M1 263 mp pasa para lo cual se hace remuestreo de dos probetas adicionales que cumplen criterios de QW-183 junto con las probetas iniciales. El filete es de tamaño uniforme.							

Fuente: Autor


9 Conclusiones

- Se cumplió con el diseño y calificación de un procedimiento de soldadura para el proyecto “DESARROLLO DE INGENIERÍA DE DETALLE PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD DEL SISTEMA CASTILLA - APIAY - MONTERREY - 330 KBPDO”, procedimiento que en su momento no existía dentro de los documentos de la Gerencia Técnica de Activos GTA.
- Con la identificación de las variables térmicas y de proceso se logra plasmar de forma más clara las variables esenciales y no esenciales bajo los requerimientos técnicos del ASME SECC IX y de diseño del estándar API 650 en el procedimiento.
- Realizadas las pruebas adicionales de macroataque (prueba no requerida según criterios de ASME SECC IX) a los cupones extraídos para calificar el procedimiento PQR, se logró identificar la sanidad de la junta soldada diseñada para dar garantía de la eficiencia de la unión soldada en la conexión de los dos tanques en servicio de la estación Apiay.

10 Recomendaciones

- Todo procedimiento de soldadura se debe calificar, o se debe verificar si algún procedimiento existente cubre las variables esenciales y no esenciales para poderlo utilizar de lo contrario se debe recalificar.
- Antes de calificar un procedimiento de soldadura es importante validar previamente las consideraciones de diseño de soldadura del ensamble a soldar, tomando como referencia los criterios de especificaciones de diseño estándar, código, norma aplicable que puede optimizar o restringir algunas variables del procedimiento y hacerlo económicamente más viable.
- El cumplimiento de las especificaciones del contrato, plan de soldadura, planes de inspección, de los ensayos y el seguimiento durante todo el proceso del proyecto garantiza el buen funcionamiento de los equipos y estructuras dentro del contexto operacional y bajo el cual van a operar durante el ciclo productivo, reduciendo al máximo intervenciones por malas prácticas de montaje, operación y control de integridad.

11 Anexo 1 Materiales

 Tecnicontrol <small>UNA EMPRESA BUREAU VERITAS</small>	INFORME DE INSPECCIÓN	Datos del formato RC-GO 569
		Versión 8 Ago./12

REPORTE No: 005- Caracterización Tubería y accesorios

FECHA: 11/08/2015

INSPECCIÓN: Caracterización de material por ensayos de PMI, dureza y metalografía en Tubería de acero en 3", 8", 14" y 16" de diámetro y accesorios (Codos, bridas, Ciegos), en taller de Ismocol en la ciudad de Villavicencio.

Apreciado Señor: ING. CAMILO TORRES

ORDEN
PRINCIPAL No.

MA0033205

Inspeccionado por: WVEIMAR BRICEÑO

SUB ORDEN No.

OSWALDO ADAME


NII No.

HDEC4701

Agencia: TECNICONTROL


Oficina: BOGOTA D.C.

FECHA DE INSPECCIÓN: 22 a 29 de Julio de 2015	EN: Tubería en acero, diámetros 3", 8", 14" y 16", y accesorios (bridas, codos y ciegos)	PARA DESPACHAR A: BOGOTA
ESTADO DE LA ORDEN:	COMPLETA <input type="checkbox"/>	INCOMPLETA <input checked="" type="checkbox"/>
DESCRIPCIÓN: <i>Caracterización de material por ensayos de PMI, dureza y metalografía en Tubería de acero en 3" 8", 14" y 16" de diámetro y accesorios (Codos, bridas, ciegos), en taller de Ismocol en la ciudad de Villavicencio.</i>		

 TC Technicontrol <small>UNA EMPRESA BUREAU VERITAS</small>	INFORME DE INSPECCIÓN	Datos del formato RC-GO 569	
		Versión 8	Ago./12

Diámetro	Espesor	Colada	Identificación	No. Muestra
16"	0.430"	875692	Codo 45°	M12
18"	0.625"	1000017457	Tubería	M13
16"	0.375"	Sin colada	Tubería	M14
6"	0.290"	NF608	Codo 45°	M15
10"	0.270"	2P2G5GH	Codo 90°	M16
16"	0.375	211509	Tubería	M17
16"	0.375	211513	Tubería	M18
10"	0.390"	127754	Codo 90°	M19
16"	0.375	211511	Tubería	M20
16"	0.375	211510	Tubería	M21
6"	18.25"	203A8	Brida WN RF	M22
6"	0.280"	345186	Tubería	M23
8"	0.280"	43211K	Tubería	M24
3"	0.216"	D000942	Tubería	M25
16"	0.375	211514	Tubería	M26
4"	0.250"	51653	Codo 90°	M27
4"	0.260"	11E00067	Codo 90°	M28
4"	0.220"	501H	Codo 90°	M29
4"	0.220"	501H	Codo 90°	M29-2
3"	0.900"	28525	Ciego	M30
3"	0.900"	10/31376	Ciego	M31
3"	0.893"	61303	Ciego	M32
3"	0.892"	78846	Ciego	M33
4"	STD	0044	Brida WN RF	M34
3"	0.200"	NG 602	Codo 90°	M35

Tabla No.1. Tubería y accesorios en Taller de Ismocol

	INFORME DE INSPECCIÓN	Datos del formato RC-GO 569
		Versión 8 Ago./12

Muestra	Composición Química (PMI)					
M24	99.05% Fe	0.64% Mn	0.015% S	0.010% P	0.21% Si	0.041% Cr
	Dureza Promedio	143 HV	Resistencia a tensión según SA370		69.000 psi	
Composición Química A 106 Grado B						
0.29-1.06% Mn	0.035% P Máximo	0.035% S Máximo	0.10% Si Mínimo	0.15% Mo Máximo	0.40% Cr Máximo	
Esfuerzo Mínimo de tensión según especificación			60.000 psi			

Tabla No. 15. Propiedades Muestra M24 (Colada 43211K).

Muestra	Composición Química (PMI)					
M25	98.47% Fe	1.02% Mn	0.072%Cr	0.015 % S	0.010% P	0.31% Si
	Dureza Promedio		144,2 HV	Resistencia a tensión según SA370		69.000 psi
Composición Química API 5L PSL 1 Grado X42						
1.40 % Mn Máximo		0.030 %P Máximo		0.030% S Máximo		
Esfuerzo Mínimo de tensión según especificación				66.700 psi		

Tabla No. 16. Propiedades Muestra M25 (Colada D000942).

12 Anexo 2 Ensayos

Ensayo de Dureza

INSPEQ INGENIERIA LTDA.		ENSAYO DE MICRODUREZA REGISTRO DE INSPECCIÓN		D0216-1F Version: 1 REGISTRO No: 007 FECHA: 23.11.2015 PÁG. No. 1 DE 2 O/S No. 257.15 O/T No. 15322			
Vigente a partir de: 10.Abr.15		EMPRESA: SOLDADURAS WEST ARCO		PROYECTO: MICRODUREZA A PROBETA			
LUGAR DE INSPECCIÓN: OFICINA DE INSPEQ INGENIERIA BOGOTÁ		MATERIAL BASE: ASTM A36 + ASTM A106 Grado B		EQUIPO UTILIZADO: COMPUTEST SC			
ELEMENTO (S) INSPECCIONADO(S): PROBETA M11 322		UNIDAD DE MEDIDA: <input checked="" type="checkbox"/> HV <input type="checkbox"/> HB <input type="checkbox"/> HRS <input type="checkbox"/> HRC		PUNTOS TOMADOS: 45			
ZONA(S) INSPECCIONADA(S): METAL BASE, ZAT Y MATERIAL DE APORTE		IDENTIFICACIÓN: PROBETA M11 322					
ZONA	PUNTO	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	PROMEDIO	RESISTENCIA EQUIVALENTE (ksi)
METAL BASE	1	179	178	174	176	177	87
	2	176	177	177	174	177	86
	3	174	172	173	175	173	85
	4	175	176	172	175	175	85
	5	176	175	171	176	176	86
	6	173	174	176	178	174	85
	7	176	176	174	176	176	86
	8	174	173	175	176	175	85
ZAT	9	184	182	184	185	184	88
	10	186	184	182	185	185	89
	11	185	184	183	184	184	88
	12	183	183	185	182	183	88
	13	184	185	189	181	183	88
	14	185	187	183	182	185	89
	15	186	185	186	181	186	89
	16	184	184	186	183	184	88
	17	182	185	181	180	181	88
	18	186	182	189	186	187	89
	19	189	190	192	182	190	90
	20	181	178	177	186	179	87
	21	173	176	174	168	174	85
	22	172	171	177	175	173	84
	23	186	196	190	188	188	89
	24	188	186	187	183	187	89
	25	179	185	184	185	185	89
	26	184	181	176	180	182	88
	27	181	181	176	178	180	88
	28	183	185	183	185	184	88
29	184	193	185	188	186	89	
METAL DE APORTE	30	186	179	173	181	182	88
	31	180	185	181	183	181	88
	32	185	183	182	184	184	88
	33	208	207	205	206	206	98
	34	180	187	182	181	181	86
	35	176	174	182	189	173	84
	36	181	178	175	186	178	87
	37	176	174	172	174	175	85
	38	174	178	175	176	176	86
	39	178	176	174	176	175	85
	40	176	175	174	176	176	86
	41	179	171	177	176	175	85
	42	188	198	184	186	186	89
	43	184	173	176	175	175	85
	44	175	181	175	171	174	85
	45	184	185	184	175	184	88

NOTA: El formato del ensayo de microdureza se cambio a petición del cliente y los puntos de microdureza se realizaron de acuerdo al siguiente esquema.


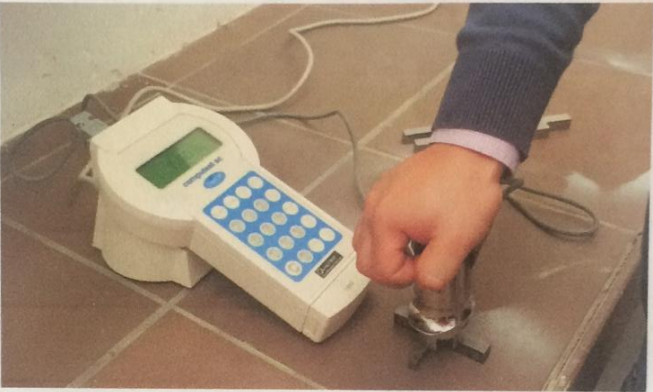


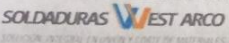
ESQUEMA:

INSPECTOR
NOMBRE: ING. YEFERSON FABIAN RICO OSMA
FIRMA:

SOLDADURAS WEST ARCO
CLIENTE

N.A
GESTORÍA

Carretera 27 No. 83-67 Telefax: 2186580 - 6915340 Celular: 3102350250 E-mail: inspeq@inspeqingenieria.com Bogotá D.C.
Calle 57 No. 23-16 Telefax: 6224967 Celular: 3204106386 E-mail: inspeqbja@inspeqingenieria.com Barrancabermeja

	ENSAYO DE MICRODUREZA REGISTRO DE INSPECCIÓN	DIO216-1F Version: 1 REGISTRO No: 007 FECHA: 23.11.2015 PÁG. No. 2 DE 2 O/S No. 257.15 O/T No. 15322
Vigente a partir de: 10.Abr.15	EMPRESA: SOLDADURAS WEST ARCO	PROYECTO: MICRODUREZA A PROBETA
LUGAR DE INSPECCIÓN: OFICINA DE INSPEQ INGENIERIA BOGOTA	MATERIAL BASE: API SL X 70	EQUIPO UTILIZADO: COMPUTEST SC
ELEMENTO (S) INSPECCIONADO(S): PROBETA M11 322	ZONA(S) INSPECCIONADA(S): MATERIAL BASE, ZAT Y MATERIAL DE APORTE	UNIDAD DE MEDIDA: <input checked="" type="checkbox"/> HV <input type="checkbox"/> HB <input type="checkbox"/> HRB <input type="checkbox"/> HRC
IDENTIFICACIÓN: PROBETA M11 322	PUNTOS TOMADOS: 45	
REGISTRO FOTOGRAFICO DE TOMA DE MICRODUREZA A PROBETA M11 322		
<div style="text-align: center;">    </div>		
INSPECTOR NOMBRE ING. YEFERSON FABIAN RICO OSMA FIRMA:	 CLIENTE	N.A GESTORÍA

13 Bibliografía

- Dossier De Mantenimiento Tanque K-402 Contrato N°MA0003174 OBRAS PARA LA REHABILITACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS EN LAS PLANTAS APIAY Y VASCONIA DE LA VICEPRESIDENCIA DE TRANSPORTE DE ECOPETROL S. A –ARCOMAT NUMERAL 10.1 INFORME FR-57-API-TP402-08292012-1 DE INSPECCIÓN DEL K-402 REALIZADA POR ROSEN EUROPE Magnético Tomo 2 (34). ENERO 2013.
- Dossier De Construcción Tanque K-403 Contrato N°MA0003174 OBRAS PARA LA REHABILITACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS EN LAS PLANTAS APIAY Y VASCONIA DE LA VICEPRESIDENCIA DE TRANSPORTE DE ECOPETROL S.A –ARCOMAT NUMERAL CAPITULO 10 TANQUES 10.1 INFORME FR-57-ARCOMAT-TP403-01192012-1 DE INSPECCIÓN DEL K-403 REALIZADA POR ROSEN EUROPE Magnético Tomo 2 (3). MAYO 2012
- Catálogo West Arco; Electromanufacturas S.A; pág. 51, WIZ 18S: AWS E7018 Electrodo para soldar aceros al carbono. Edición 2004
- Catálogo West Arco; Electromanufacturas S.A; pág. 174, WIZ 18S: AWS E7018 Electrodo para soldar aceros al carbono, Recomendaciones para el Almacenamiento de los Electrodo. Edición 2004
- Soldadura Principios Y Aplicaciones, Quinta Edición, Larry Jeffus, Ediciones Paraninfo, S.A 5ª edición, 2009.
- Acero; Martínez Gómez Lorenzo
- Metalurgia De La Soldadura; Osmundo Héctor Rodríguez Pérez. Editorial Universitaria, 2013 ISBN 978-95916-2101-6. 196 PÁGINAS.
- Soldadura En El Montaje De Tuberías. Manuel Jesús Sánchez Marchante. ISBN 978-848364-945—9. © DE LA EDICIÓN INNOVA 2012
- Welded Tanks for Oil Storage; API STANDARD 650; TWELFTH EDITION, MARCH 2013.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code IX, Welding, Brazing, and Fusing Qualifications Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators.
- Instituto Colombiano De Normas Técnicas; Norma Icontec 2057 Código para Calificar el Procedimiento para Soldar y la Habilidad del Soldador.

Infografía

- Manual De Soldadura Por Arco Eléctrico, EDICIONES@CANOPIA.COM, ISBN 978-84-15884-42-2.
- Procesos y Definiciones SMAW |Soldadura. Recuperado de <http://www.smaw.cl/procesos-y-definiciones-smaw/>